

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 2 5 日
Date of Application:

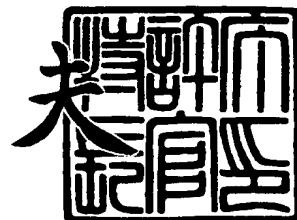
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 8 3 3 4 8
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 8 3 3 4 8]

出 願 人 株式会社日立製作所
Applicant(s):

2 0 0 4 年 3 月 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 1 7 8 6 3

【書類名】 特許願

【整理番号】 H03000211

【提出日】 平成15年 3月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/88

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 16 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 野口 純司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 16 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 大島 隆文

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 16 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 三浦 典子

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 16 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 石川 憲輔

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 502 番地 株式会社日立製作所 機械研究所内

【氏名】 岩崎 富生

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目 16 番地の 3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 勝山 清美

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 齋藤 達之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 田丸 剛

【発明者】

【住所又は居所】 東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式会社日立製作所 デバイス開発センタ内

【氏名】 山口 日出

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100080001

【弁理士】

【氏名又は名称】 筒井 大和

【電話番号】 03-3366-0787

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006909

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板と、
前記半導体基板上に形成された第 1 絶縁膜と、
前記第 1 絶縁膜に形成された配線開口部と、
銅を主成分とする第 1 導体膜を有し、前記配線開口部に埋め込まれた配線と、
前記配線上および前記第 1 絶縁膜上に形成された第 1 バリア絶縁膜と、
前記第 1 バリア絶縁膜上に形成された第 2 バリア絶縁膜と、
前記第 2 バリア絶縁膜上に形成され、酸化シリコン膜よりも低い誘電率を有する第 2 絶縁膜と、
を有し、
前記第 1 バリア絶縁膜の銅に対するバリア性は、前記第 2 バリア絶縁膜の銅に対するバリア性よりも大きく、

前記第 2 バリア絶縁膜と前記第 2 絶縁膜との密着性が、前記第 1 バリア絶縁膜上に前記第 2 絶縁膜を形成したときの前記第 1 バリア絶縁膜と前記第 2 絶縁膜との密着性よりも大きいことを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の半導体装置において、
前記第 1 バリア絶縁膜の膜厚は、前記第 2 バリア絶縁膜の膜厚よりも厚いことを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載の半導体装置において、
前記第 1 バリア絶縁膜の膜厚は 40 nm 以下であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 4】 請求項 1 記載の半導体装置において、
前記第 2 絶縁膜は、塗布法または CVD 法によって形成された膜であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】 請求項 1 記載の半導体装置において、
前記配線は、前記配線開口部の底面および側面上に形成されたバリア導体膜と、前記バリア導体膜上に形成された前記第 1 導体膜とを有することを特徴とする

半導体装置。

【請求項 6】 請求項 1 記載の半導体装置において、

前記第 1 バリア絶縁膜は、シリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 7】 請求項 1 記載の半導体装置において、

前記第 2 バリア絶縁膜は、炭化シリコンからなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 8】 請求項 1 記載の半導体装置において、

前記第 2 絶縁膜は、シリコンと酸素と炭素とを含む材料からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 9】 請求項 1 記載の半導体装置において、

前記配線の表面に、銅より拡散係数の小さい銅化合物膜または銅以外の金属膜が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 10】 請求項 1 記載の半導体装置において、

前記配線の表面は窒化されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 11】 請求項 1 記載の半導体装置において、

前記第 1 絶縁膜と前記第 1 バリア絶縁膜との間に、第 3 絶縁膜が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 12】 請求項 11 記載の半導体装置において、

前記第 1 絶縁膜と前記第 3 絶縁膜との間に、第 4 絶縁膜が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 13】 半導体基板と、

前記半導体基板上に形成された第 1 絶縁膜と、

前記第 1 絶縁膜に形成された配線開口部と、

銅を主成分とする第 1 導体膜を有し、前記配線開口部に埋め込まれた配線と、

前記配線上および前記第 1 絶縁膜上に形成され、シリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料からなる第 2 絶縁膜と、

前記第 2 絶縁膜上に形成された炭化シリコンからなる第 3 絶縁膜と、

前記第 3 絶縁膜上に形成され、酸化シリコン膜よりも低い誘電率を有する第 4

絶縁膜と、

を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項 14】 請求項 13 記載の半導体装置において、

前記第 4 絶縁膜は、シリコンと酸素と炭素とを含む材料からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 15】 半導体基板と、

前記半導体基板上に形成された第 1 絶縁膜と、

前記第 1 絶縁膜に形成された配線開口部と、

銅を主成分とする第 1 導体膜を有し、前記配線開口部に埋め込まれた配線と、

前記配線上および前記第 1 絶縁膜上に形成されたバリア絶縁膜と、

前記バリア絶縁膜上に形成され、酸化シリコン膜よりも低い誘電率を有する第 2 絶縁膜と、

を有し、

前記配線と前記バリア絶縁膜との界面近傍における前記バリア絶縁膜の窒素濃度が、前記第 2 絶縁膜と前記バリア絶縁膜との界面近傍における前記バリア絶縁膜の窒素濃度よりも高いことを特徴とする半導体装置。

【請求項 16】 請求項 15 記載の半導体装置において、

前記バリア絶縁膜は、シリコンと炭素と窒素とを含む材料からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 17】 半導体基板と、

前記半導体基板上に形成された第 1 絶縁膜と、

前記第 1 絶縁膜に形成された配線開口部と、

銅を主成分とする第 1 導体膜を有し、前記配線開口部に埋め込まれた配線と、

前記配線上および前記第 1 絶縁膜上に形成され、銅の拡散を抑制または防止する機能を有する第 2 絶縁膜と、

前記第 2 絶縁膜上に形成され、応力を制御する機能を有する第 3 絶縁膜と、

を有し、

前記第 2 絶縁膜と前記第 3 絶縁膜との積層膜の応力が、 -180 MPa 以上であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 18】 請求項 17 記載の半導体装置において、
前記第 3 絶縁膜は、前記第 2 絶縁膜の発生させる応力を緩和させるように機能することを特徴とする半導体装置。

【請求項 19】 請求項 17 記載の半導体装置において、
前記第 2 絶縁膜は圧縮応力を発生させる膜であり、前記第 3 絶縁膜は引張応力を発生させる膜であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 20】 請求項 17 記載の半導体装置において、
前記第 2 絶縁膜は、シリコンと炭素と窒素とを含む材料からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 21】 請求項 17 記載の半導体装置において、
前記第 3 絶縁膜は、炭化シリコンからなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 22】 (a) 半導体基板を準備する工程、
(b) 前記半導体基板上に第 1 絶縁膜を形成する工程、
(c) 前記第 1 絶縁膜に第 1 配線開口部を形成する工程、
(d) 前記第 1 配線開口部内に、銅を主成分とする第 1 導体膜を有する配線を形成する工程、
(e) 前記配線が埋め込まれた前記第 1 絶縁膜上に第 1 バリア絶縁膜を形成する工程、
(f) 前記第 1 バリア絶縁膜上に第 2 バリア絶縁膜を形成する工程、
(g) 前記第 2 バリア絶縁膜上に、酸化シリコン膜よりも低い誘電率を有する第 2 絶縁膜を形成する工程、
を有し、

前記第 1 バリア絶縁膜の銅に対するバリア性は、前記第 2 バリア絶縁膜の銅に対するバリア性よりも大きく、

前記第 2 バリア絶縁膜と前記第 2 絶縁膜との密着性が、前記第 1 バリア絶縁膜上に前記第 2 絶縁膜を形成したときの前記第 1 バリア絶縁膜と前記第 2 絶縁膜との密着性よりも大きいことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 23】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記 (g) 工程の後に、更に、

(h) 前記第 1 バリア絶縁膜、前記第 2 バリア絶縁膜および前記第 2 絶縁膜に、ドライエッチングにより第 2 開口部を形成する工程、

(i) 前記第 2 開口部に銅を主成分とする導体膜を埋め込む工程、
を有し、

前記第 2 バリア絶縁膜は、前記第 2 開口部を形成する際のエッチングストップパ膜として機能することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 24】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記第 2 絶縁膜は塗布法または CVD 法によって形成されることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 25】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記第 1 バリア絶縁膜の膜厚は、前記第 2 バリア絶縁膜の膜厚よりも厚いことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 26】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記第 1 バリア絶縁膜の膜厚は 40 nm 以下であることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 27】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記第 1 バリア絶縁膜は、シリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料からなることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 28】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記第 2 バリア絶縁膜は、炭化シリコンからなることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 29】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記 (d) 工程の後で前記 (e) 工程の前に、
前記配線の表面に、銅より拡散係数の小さい銅化合物膜または銅以外の金属膜を形成する工程を更に有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 30】 請求項 22 記載の半導体装置の製造方法において、
前記 (d) 工程の後で前記 (e) 工程の前に、
前記配線の表面を窒化させる工程を更に有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 3 1】 請求項 2 2 記載の半導体装置の製造方法において、

前記 (b) 工程後に、更に前記第 1 絶縁膜上に第 3 絶縁膜を形成する工程を有し、且つ、

前記 (d) 工程は、前記第 1 配線開口部内および前記第 3 絶縁膜上に前記第 1 導体膜を堆積する工程と、前記第 1 配線開口部内に埋め込まれた前記第 1 導体膜以外の前記第 1 導体膜を除去する工程とを有し、

前記第 1 導体膜を除去する工程で前記第 3 絶縁膜は前記第 1 絶縁膜の保護膜としての機能を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 3 2】 請求項 2 2 記載の半導体装置の製造方法において、

(h) 前記第 2 絶縁膜上に第 3 絶縁膜からなるマスクを形成する工程、

(i) 前記マスクによって前記第 2 絶縁膜をエッチングすることで前記配線に接続する孔を形成する工程、

を更に有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 3 3】 請求項 2 2 記載の半導体装置の製造方法において、

(h) 前記第 2 絶縁膜上に第 3 絶縁膜からなる第 1 マスクおよび第 4 絶縁膜からなる第 2 マスクを形成する工程、

(i) 前記第 1 マスクによって前記第 2 絶縁膜をエッチングすることで前記配線に接続する孔を、前記第 2 マスクによって前記第 2 絶縁膜をエッチングすることで前記孔よりも口径の大きい配線溝を形成する工程、

を更に有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 3 4】 以下の工程を有することを特徴とする半導体装置の製造方法；

(a) 半導体基板を準備する工程、

(b) 前記半導体基板上に第 1 絶縁膜を形成する工程、

(c) 前記第 1 絶縁膜に第 1 配線開口部を形成する工程、

(d) 前記第 1 配線開口部内に、銅を主成分とする第 1 導体膜を有する配線を形成する工程、

(e) 前記配線が埋め込まれた前記第 1 絶縁膜上に、シリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料からなる第 2 絶縁膜を形成する

工程、

(f) 前記第2絶縁膜上に、炭化シリコンからなる第3絶縁膜を形成する工程、

(g) 前記第3絶縁膜上に、酸化シリコン膜よりも低い誘電率を有する第4絶縁膜を形成する工程。

【請求項35】 請求項34記載の半導体装置の製造方法において、

前記第4絶縁膜は、シリコンと酸素と炭素とを含む材料からなることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項36】 (a) 半導体基板を準備する工程、

(b) 前記半導体基板上に第1絶縁膜を形成する工程、

(c) 前記第1絶縁膜に第1配線開口部を形成する工程、

(d) 前記第1配線開口部内に、銅を主成分とする第1導体膜を有する配線を形成する工程、

(e) 前記配線が埋め込まれた前記第1絶縁膜上にバリア絶縁膜を形成する工程、

(f) 前記バリア絶縁膜上に、酸化シリコン膜よりも低い誘電率を有する第2絶縁膜を形成する工程、

を有し、

前記配線と前記バリア絶縁膜との界面近傍における前記バリア絶縁膜の窒素濃度が、前記第2絶縁膜と前記バリア絶縁膜との界面近傍における前記バリア絶縁膜の窒素濃度よりも高いことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項37】 請求項36記載の半導体装置の製造方法において、

前記バリア絶縁膜は、シリコンと炭素と窒素とを含む材料からなることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項38】 請求項36記載の半導体装置の製造方法において、

前記(e)工程では、前記バリア絶縁膜は窒素ガスを用いたCVD法によって形成され、前記バリア絶縁膜の成膜初期段階において成膜装置へ導入される窒素ガスの流量が、前記バリア絶縁膜の成膜後期段階において成膜装置へ導入される窒素ガスの流量よりも多いことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項39】 請求項36記載の半導体装置の製造方法において、

前記(e)工程では、前記バリア絶縁膜は窒素ガスを用いたCVD法によって形成され、前記バリア絶縁膜の成膜後期段階では成膜装置への窒素ガスの導入が停止されることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置およびその製造技術に関し、特に、銅を主成分とする主導体膜を含む配線を有する半導体装置に適用して有効な技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体装置の素子間には、例えば多層配線構造により結線され回路が構成される。微細化に伴い配線構造として埋込配線構造が開発されている。埋込配線構造は、例えば絶縁膜に形成された配線溝や孔などのような配線開口部内に、ダマシン(Damascene)技術(シングルダマシン(Single-Damascene)技術およびデュアルダマシン(Dual-Damascene)技術)によって、配線材料を埋め込むことで形成される。

【0003】

特開2002-43419号公報には、下層配線としてのCu層上にCu原子の拡散防止膜として膜厚50nmのP-SiC膜を形成し、P-SiC膜上に層間絶縁膜として低誘電率層を形成する技術が記載されている(特許文献1参照)。

【0004】

特開2002-270691号公報には、銅配線を形成した後、CMP法によって形成された平面上に炭化ケイ素(SiC)、窒化ケイ素(SiN)およびそれらの混合物(SiCN)などからなる5~50nmの膜厚の絶縁性バリア膜を形成する技術が記載されている(特許文献2参照)。

【0005】

また、非特許文献1には、バリア誘電体として、下層側の α -SiC膜と上層側の α -SiCN膜の2層誘電体を用いる技術が記載されている(非特許文献1

参照)。

【0006】

【特許文献1】

特開2002-43419号公報

【0007】

【特許文献2】

特開2002-270691号公報

【0008】

【非特許文献1】

シー・シー・チャン (C.C.Chiang)、エム・シー・チェン (M.C.Chen)、ゼット・シー・ウー (Z.C.Wu)、エル・ジェイ・リー (L.J.Li)、エス・エム・ジャン (S.M.Jang)、シー・エイチ・ユー (C.H.Yu) およびエム・エス・リヤン (M.S.Liang)、ティーディーディービー・リライアビリティ・インプローブメント・イン・シーユー・ダマシン・バイ・ユージング・ア・バイレイヤーストラクチャード・ピーイーシーブイディー・エスアイシー・ディエレクトリック・バリア (TDDB Reliability Improvement in Cu Damascene by using a Bilayer-Structured PECVD SiC Dielectric Barrier), 「2002 アイアイティーシー (2002 IITC (International Interconnect Technology Conference))」, (米国), アイイーイーイー (IEEE), 2002年, p. 200-202

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

本発明者の検討によれば、埋込銅配線を有する半導体装置においては、高温放置することなどにより、ストレスマイグレーションによって埋込銅配線の電気抵抗が上昇することが分かった。これは、埋込銅配線の信頼性を低下させる。

【0010】

また、埋込銅配線を有する半導体装置においては、埋込銅配線のTDDB (Time Dependence on Dielectric Breakdown) 寿命を向上させることも要求される。本発明者の検討によれば、TDDB寿命試験においては、同層の埋込銅配線における隣接する配線間で、配線中の銅イオンが配線間の電界によりドリフトされ

、絶縁破壊が引き起こされることが分かった。

【0011】

従って、埋込銅配線においては、ストレスマイグレーション特性の改善や TDB 寿命の向上など、更なる信頼性の向上が求められている。

【0012】

本発明の目的は、銅を主成分とする主導体膜を含む配線の信頼性を向上させることができる半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

【0013】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【0015】

本発明の半導体装置は、埋込銅配線のバリア絶縁膜として、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上に形成され、銅に対するバリア性に優れた第1バリア絶縁膜と、第1バリア絶縁膜上に形成され、低誘電率材料膜との密着性に優れた第2バリア絶縁膜との積層膜を用いるものである。

【0016】

また、本発明の半導体装置は、埋込銅配線のバリア絶縁膜として、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上に形成され、シリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料からなる第1バリア絶縁膜と、第1バリア絶縁膜上に形成され、炭化シリコンからなる第2バリア絶縁膜との積層膜を用いるものである。

【0017】

また、本発明の半導体装置は、埋込銅配線のバリア絶縁膜において、銅配線とバリア絶縁膜との界面近傍におけるバリア絶縁膜の窒素濃度が、バリア絶縁膜の上層の低誘電率材料膜とバリア絶縁膜との界面近傍におけるバリア絶縁膜の窒素

濃度よりも高いものである。

【0018】

また、本発明の半導体装置は、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上に、銅の拡散を抑制または防止する機能を有する絶縁膜を形成し、その上に応力を制御する機能を有する絶縁膜を形成し、銅の拡散を抑制または防止する機能を有する絶縁膜と応力を制御する機能を有する絶縁膜との積層膜の応力が -180MPa 以上であるものである。

【0019】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上に銅に対するバリア性に優れた第1バリア絶縁膜を形成し、第1バリア絶縁膜上に低誘電率材料膜との密着性に優れた第2バリア絶縁膜を形成し、第2バリア絶縁膜上に低誘電率材料膜を形成するものである。

【0020】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上にシリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料からなる第1バリア絶縁膜を形成し、第1バリア絶縁膜上に炭化シリコンからなる第2バリア絶縁膜を形成し、第2バリア絶縁膜上に低誘電率材料膜を形成するものである。

【0021】

また、本発明の半導体装置の製造方法は、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上にバリア絶縁膜を形成し、バリア絶縁膜上に低誘電率材料膜を形成し、銅配線とバリア絶縁膜との界面近傍におけるバリア絶縁膜の窒素濃度が、バリア絶縁膜の上層の低誘電率材料膜とバリア絶縁膜との界面近傍におけるバリア絶縁膜の窒素濃度よりも高いものである。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の実施の形態では、特に必要な

とき以外は同一または同様な部分の説明を原則として繰り返さない。

【0023】

(実施の形態1)

本実施の形態の半導体装置およびその製造工程を図面を参照して説明する。図1は、本発明の一実施の形態である半導体装置、例えばMISFET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor)、の製造工程中の要部断面図である。

【0024】

図1に示すように、例えば $1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ 程度の比抵抗を有するp型の単結晶シリコンなどからなる半導体基板(半導体ウエハ)1の主面に素子分離領域2が形成される。素子分離領域2は酸化シリコンなどからなり、例えばSTI (Shallow Trench Isolation) 法またはLOCOS (Local Oxidization of Silicon) 法などにより形成される。

【0025】

次に、半導体基板1のnチャネル型MISFETを形成する領域にp型ウエル3を形成する。p型ウエル3は、例えばホウ素(B)などの不純物をイオン注入することなどによって形成される。

【0026】

次に、p型ウエル3の表面にゲート絶縁膜4が形成される。ゲート絶縁膜4は、例えば薄い酸化シリコン膜などからなり、例えば熱酸化法などによって形成することができる。

【0027】

次に、p型ウエル3のゲート絶縁膜4上にゲート電極5が形成される。例えば、半導体基板1上に多結晶シリコン膜を形成し、その多結晶シリコン膜にリン(P)などをイオン注入して低抵抗のn型半導体膜とし、その多結晶シリコン膜をドライエッチングによってパターニングすることにより、多結晶シリコン膜からなるゲート電極5を形成することができる。

【0028】

次に、p型ウエル3のゲート電極5の両側の領域にリンなどの不純物をイオン

注入することにより、 n -型半導体領域 6 が形成される。

【0029】

次に、ゲート電極 5 の側壁上に、例えば酸化シリコンなどからなる側壁スペーサまたはサイドウォール 7 が形成される。サイドウォール 7 は、例えば、半導体基板 1 上に酸化シリコン膜を堆積し、この酸化シリコン膜を異方性エッチングすることによって形成することができる。

【0030】

サイドウォール 7 の形成後、 n^+ 型半導体領域 8 (ソース、ドレイン) が、例えば、 p 型ウエル 3 のゲート電極 5 及びサイドウォール 7 の両側の領域にリンなどの不純物をイオン注入することにより形成される。 n^+ 型半導体領域 8 は、 n -型半導体領域 6 よりも不純物濃度が高い。

【0031】

次に、ゲート電極 5 および n^+ 型半導体領域 8 の表面を露出させ、例えばコバルト (Co) 膜を堆積して熱処理することによって、ゲート電極 5 と n^+ 型半導体領域 8 との表面に、それぞれシリサイド膜 5a およびシリサイド膜 8a を形成する。これにより、 n^+ 型半導体領域 8 の拡散抵抗と、コンタクト抵抗とを低抵抗化することができる。その後、未反応のコバルト膜は除去する。

【0032】

このようにして、 p 型ウエル 3 に n チャネル型の MISFET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor) 9 が形成される。

【0033】

次に、半導体基板 1 上に窒化シリコンなどからなる絶縁膜 10 と、酸化シリコンなどからなる絶縁膜 11 を順次堆積する。それから、絶縁膜 11 および絶縁膜 10 を順次ドライエッチングすることにより、 n^+ 型半導体領域 (ソース、ドレイン) 8 の上部などにコンタクトホール 12 を形成する。コンタクトホール 12 の底部では、半導体基板 1 の主面の一部、例えば n^+ 型半導体領域 8 の一部、やゲート電極 5 の一部などが露出される。

【0034】

次に、コンタクトホール 12 内に、タングステン (W) などからなるプラグ 1

3が形成される。プラグ13は、例えば、コンタクトホール12の内部を含む絶縁膜11上にバリア膜として例えば窒化チタン膜13aを形成した後、タングステン膜をCVD (Chemical Vapor Deposition) 法などによって窒化チタン膜13a上にコンタクトホール12を埋めるように形成し、絶縁膜11上の不要なタングステン膜および窒化チタン膜13aをCMP (Chemical Mechanical Polishing) 法またはエッチバック法などによって除去することにより形成することができる。

【0035】

図2～図13は、図1に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図を示している。なお、理解を簡単にするために、図2～図13では、図1の絶縁膜1より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0036】

図2に示されるように、プラグ13が埋め込まれた絶縁膜11上に絶縁膜（エッチングストッパ膜）14を形成する。絶縁膜14は、例えば炭化シリコン（SiC）膜からなる。絶縁膜14の他の材料として、窒化シリコン（Si_xN_y）膜などを用いることもできる。絶縁膜14は、炭化シリコン（SiC）膜と窒化シリコン（Si_xN_y）膜との積層膜で構成してもよい。絶縁膜14は、その上層の絶縁膜（層間絶縁膜）15に配線形成用の溝や孔をエッチングにより形成する際に、その掘り過ぎにより下層に損傷を与えたり、加工寸法精度が劣化したりすることを回避するために形成される。すなわち、絶縁膜14は絶縁膜（層間絶縁膜）15をエッチングする際にエッチングストッパとして機能することができる。

【0037】

次に、絶縁膜14上に絶縁膜（層間絶縁膜）15が形成される。絶縁膜15は、例えば有機ポリマーまたは有機シリカガラスなどのような低誘電率材料（いわゆるLow-K絶縁膜、Low-K材料）からなることが好ましい。なお、低誘電率な絶縁膜（Low-K絶縁膜）とは、パッシベーション膜に含まれる酸化シリコン膜（たとえばTEOS (Tetraethoxysilane) 酸化膜）の誘電率よりも低い誘電率を有する絶縁膜を例示できる。一般的には、TEOS酸化膜の比誘電率 $\epsilon = 4.1 \sim 4.2$ 程度以下を低誘電率な絶縁膜と言う。

【0038】

上記低誘電率材料としての有機ポリマーには、例えばS i L K (米The Dow Chemical Co.製、比誘電率=2.7、耐熱温度=490℃以上、絶縁破壊耐圧=4.0~5.0MV/Vm) またはポリアリルエーテル(P A E)系材料のF L A R E (米Honeywell Electronic Materials製、比誘電率=2.8、耐熱温度=400℃以上)がある。このP A E系材料は、基本性能が高く、機械的強度、熱的安定性および低コスト性に優れるという特徴を有している。上記低誘電率材料としての有機シリカガラス(S i O C系材料)には、例えばH S G-R 7 (日立化成工業製、比誘電率=2.8、耐熱温度=650℃)、B l a c k D i a m o n d (米Applied Materials, Inc.製、比誘電率=3.0~2.4、耐熱温度=450℃) またはp-M T E S (日立開発製、比誘電率=3.2)がある。この他のS i O C系材料には、例えばC O R A L (米Novellus Systems, Inc.製、比誘電率=2.7~2.4、耐熱温度=500℃)、A u r o r a 2.7 (日本エー・エス・エム社製、比誘電率=2.7、耐熱温度=450℃)がある。

【0039】

また、上記低誘電率材料として、例えばF S G (S i O F系材料)、H S Q (hydrogen silsesquioxane)系材料、M S Q (methyl silsesquioxane)系材料、ポーラスH S Q系材料、ポーラスM S Q材料またはポーラス有機系材料を用いることもできる。上記H S Q系材料には、例えばO C D T-12 (東京応化工業製、比誘電率=3.4~2.9、耐熱温度=450℃)、F O x (米Dow Corning Corp.製、比誘電率=2.9) またはO C L T-32 (東京応化工業製、比誘電率=2.5、耐熱温度=450℃)などがある。上記M S Q系材料には、例えばO C D T-9 (東京応化工業製、比誘電率=2.7、耐熱温度=600℃)、L K D-T 200 (J S R製、比誘電率=2.7~2.5、耐熱温度=450℃)、H O S P (米Honeywell Electronic Materials製、比誘電率=2.5、耐熱温度=550℃)、H S G-R Z 25 (日立化成工業製、比誘電率=2.5、耐熱温度=650℃)、O C L T-31 (東京応化工業製、比誘電率=2.3、耐熱温度=500℃) またはL K D-T 400 (J S R製、比誘電率=2.2~2、耐熱温度=450℃)などがある。上記ポーラスH S Q系材料には、例

例えばX L K (米Dow Corning Corp. 製、比誘電率=2.5~2)、O C L T-72 (東京応化工業製、比誘電率=2.2~1.9、耐熱温度=450℃)、N a n o g l a s s (米Honeywell Electronic Materials製、比誘電率=2.2~1.8、耐熱温度=500℃以上) またはM e s o E L K (米Air Products and Chemicals, Inc. 製、比誘電率=2以下) がある。上記ポーラスMSQ系材料には、例えばH S G-6211X (日立化成工業製、比誘電率=2.4、耐熱温度=650℃)、A L C A P-S (旭化成工業製、比誘電率=2.3~1.8、耐熱温度=450℃)、O C L T-77 (東京応化工業製、比誘電率=2.2~1.9、耐熱温度=600℃)、H S G-6210X (日立化成工業製、比誘電率=2.1、耐熱温度=650℃) またはs i l i c a a e r o g e l (神戸製鋼所製、比誘電率1.4~1.1) などがある。上記ポーラス有機系材料には、例えばP o l y E L K (米Air Products and Chemicals, Inc. 製、比誘電率=2以下、耐熱温度=490℃) などがある。上記S i O C系材料、S i O F系材料は、例えばC V D法によって形成されている。例えば上記B l a c k D i a m o n dは、トリメチルシランと酸素との混合ガスを用いたC V D法などによって形成される。また、上記p-MT E Sは、例えばメチルトリエトキシシランとN₂Oとの混合ガスを用いたC V D法などによって形成される。それ以外の上記低誘電率の絶縁材料は、例えば塗布法で形成されている。

【0040】

このようなL o w-K材料からなる絶縁膜15上に、例えばC V D法などを用いて絶縁膜16を形成する。絶縁膜16は、例えば二酸化シリコン(S i O₂)に代表される酸化シリコン(S i O_x)膜からなる。絶縁膜16の他の材料として、酸窒化シリコン(S i O N)膜を用いることもできる。また、絶縁膜16は、例えばCMP処理時における絶縁膜15の機械的強度の確保、表面保護および耐湿性の確保等のような機能を有することができる。また、絶縁膜15が例えばフッ素(F)を含む酸化シリコン膜(S i O F)膜からなる場合は、絶縁膜16は、絶縁膜15中のフッ素の拡散を防止するように機能することもできる。また、絶縁膜15が、例えばCMP工程における耐性を有する場合などは、絶縁膜16の形成を省略することもできる。

【0041】

次に、図3に示されるように、フォトリソグラフィ法およびドライエッチング法を用いて、絶縁膜16、絶縁膜15および絶縁膜14を選択的に除去して開口部（配線開口部、配線溝）17を形成する。このとき、開口部17の底部では、プラグ13の上面が露出される。その後、エッチングマスクとして用いた図示しないフォトレジストパターン（および反射防止膜）をアッシングなどにより除去する。絶縁膜15が、例えば有機ポリマー系の材料（例えば上記SiLK）やポラス有機系材料（例えば上記PolyELK）などのように酸素プラズマによりダメージを受け得る材料からなる場合は、絶縁膜15をNH₃プラズマ処理またはN₂/H₂プラズマ処理などの還元性プラズマ処理によってエッチングしながら、フォトレジストパターン（および反射防止膜）をアッシングして除去することもできる。

【0042】

次に、図4に示されるように、半導体基板1の主面上の全面（すなわち開口部17の底部および側壁上を含む絶縁膜16上）に、例えば窒化チタン（TiN）などからなる厚さ50nm程度の比較的薄い導電性バリア膜18を形成する。導電性バリア膜18の成膜には、スパッタリング法やCVD法などを用いることができる。導電性バリア膜18は、例えば後述の主導体膜形成用の銅の拡散を抑制または防止する機能や主導体膜のリフロー時に銅の濡れ性を向上させる機能などを有している。このような導電性バリア膜18の材料としては、窒化チタンに代えて、銅と殆ど反応しない窒化タングステン（WN）または窒化タンタル（Ta₂N）などのような高融点金属窒化物を用いることもできる。また、導電性バリア膜18の材料として、高融点金属窒化物にシリコン（Si）を添加した材料や、銅と反応し難いタンタル（Ta）、チタン（Ti）、タングステン（W）、チタニウム（TiW）合金などのような高融点金属を用いることもできる。また、導電性バリア膜18としては、上記材料膜の単体膜だけでなく積層膜を用いることもできる。

【0043】

次に、導電性バリア膜18上に、例えば厚さ800～1600nm程度の相対

的に厚い銅からなる主導体膜 19 を形成する。主導体膜 19 は、例えば CVD 法、スパッタリング法またはめっき法などを用いて形成することができる。また、主導体膜 19 は銅を主成分とする導体膜、例えば銅または銅合金（Cu を主成分とし、例えば Mg, Ag, Pd, Ti, Ta, Al, Nb, Zr または Zn などを含む）により形成することができる。また、導電性バリア膜 18 上に、相対的に薄い銅（または銅合金）などからなるシード膜をスパッタリング法などによって形成し、その後、シード膜上に相対的に厚い銅（または銅合金）などからなる主導体膜 19 をめっき法などによって形成することもできる。その後、例えば 475℃ 程度の非酸化性雰囲気（例えば水素雰囲気）中において半導体基板 1 に対して熱処理を施すことにより主導体膜 19 をリフローさせ、銅を開口部 17 の内部に隙間なく埋め込む。

【0044】

次に、図 5 に示されるように、主導体膜 19 および導電性バリア膜 18 を例えば CMP 法によって、絶縁膜 16 の上面が露出するまで研磨する。絶縁膜 16 上の不要な導電性バリア膜 18 および主導体膜 19 を除去し、配線開口部としての開口部 17 内に導電性バリア膜 18 および主導体膜 19 を残すことにより、図 5 に示されるように、相対的に薄い導電性バリア膜 18 と相対的に厚い主導体膜 19 とからなる配線（第 1 層配線）20 を開口部 17 内に形成する。形成された配線 20 は、プラグ 13 を介して n⁺型半導体領域（ソース、ドレイン）8 やゲート電極 5 と電氣的に接続されている。あるいはエッチング（電解エッチングなど）により、不要な導電性バリア膜 18 および主導体膜 19 を除去することもできる。

【0045】

次に、半導体基板 1 をプラズマ CVD 装置の処理室内に配置し、アンモニアガスを導入してプラズマ電源を印加することにより、半導体基板 1（特に配線 20 が露出する CMP 面）に対して、アンモニア（NH₃）プラズマ処理を施す。あるいは、N₂ガスおよび H₂ガスを導入して、N₂/H₂プラズマ処理を施す。このような還元性プラズマ処理により、CMP で酸化された銅配線表面の酸化銅（CuO、Cu₂O、CuO₂）を銅（Cu）に還元し、更に、窒化銅（CuN）層が

配線 20 の表面（ごく薄い領域）に形成される。

【0046】

それから、必要に応じて洗浄を行った後、図 6 に示されるように、半導体基板 1 の主面の全面上に絶縁膜 21 および絶縁膜 22 を、例えばプラズマ CVD 法などによって順に形成する。すなわち、配線 20 の上面上を含む絶縁膜 16 上に、絶縁膜 21 および絶縁膜 22 を順に形成する。

【0047】

絶縁膜 21 は、銅配線のバリア絶縁膜として機能する。従って、絶縁膜 21 は、配線 20 の主導体膜 19 中の銅が、後で形成される絶縁膜（層間絶縁膜）23 中に拡散するのを抑制または防止する。絶縁膜 21 は、銅に対するバリア性に優れた（銅の拡散を抑制または防止する機能が高い）材料膜を用いることが好ましく、例えば炭窒化シリコン（SiCN）膜を用いることが好ましい。絶縁膜 21 としての炭窒化シリコン（SiCN）膜は、例えばトリメチルシランガスおよびアンモニアガスを用いたプラズマ CVD 法により形成することができる。炭窒化シリコン（SiCN）膜は、銅に対するバリア性に優れており、リーク電流が低く、耐圧性も高いので、配線 20 の主導体膜 19 中の銅の拡散を的確に防止することが可能となる。

【0048】

本実施の形態では、絶縁膜 21 上に、絶縁膜 22 を形成する。絶縁膜 22 は、図 7 に示すように、絶縁膜 22 上に形成する絶縁膜（低誘電率材料膜）23 との密着性に優れた材料膜を用いることが好ましく、例えば炭化シリコン（SiC）膜を用いることが好ましい。すなわち、絶縁膜 22 は接着層として機能する。絶縁膜 22 としての炭化シリコン（SiC）膜は、例えばトリメチルシランガスを用いたプラズマ CVD 法により形成することができる。このため、絶縁膜 21 および絶縁膜 22 を同じプラズマ CVD 成膜装置を用いて成膜ガスを切り換えることで形成でき、製造工程数を抑制できる。絶縁膜 22（SiC）も銅（Cu）に対するバリア性を有するが、絶縁膜 21（SiCN）のバリア性よりもその効果は小さい。すなわち、本実施の形態では、絶縁膜 21 の銅に対するバリア性は、絶縁膜 22 の銅に対するバリア性よりも大きい。また、絶縁膜 22 と絶縁膜（低

誘電率材料膜) 23 との密着性 (接着性) は、(絶縁膜 22 を形成することなく) 絶縁膜 21 上に絶縁膜 23 を形成したときの絶縁膜 21 と絶縁膜 23 との間の密着性 (接着性) よりも大きい。

【0049】

以下、本実施の形態では、これら絶縁膜 21 および絶縁膜 22 をそれぞれ便宜上第 1 バリア絶縁膜および第 2 バリア絶縁膜と称する場合もある。

【0050】

窒素や炭素を含有しない炭化シリコン (SiC) 膜により絶縁膜 22 を形成すれば、絶縁膜 22 と後述する絶縁膜 23 との間の密着性 (接着性) を向上することが可能となる。また、絶縁膜 22 も銅に対するバリア性 (銅の拡散を抑制または防止する機能) を有しているので、絶縁膜 21 上に絶縁膜 22 を形成することで、配線 20 の主導体膜 19 中の銅の拡散をよりの確に防止することができる。また、絶縁膜 21 と絶縁膜 22 のうち、配線 20 に接する絶縁膜 21 を銅のバリア性により優れた材料膜 (例えば炭窒化シリコン (SiCN) 膜) により形成し、絶縁膜 21 よりも銅のバリア性は若干低くても、層間絶縁膜としての絶縁膜 23 との密着性 (接着性) により優れた材料膜 (例えば炭化シリコン (SiC) 膜) により、絶縁膜 21 と絶縁膜 23 との間に絶縁膜 22 を形成すれば、配線 20 の主導体膜 19 中の銅の拡散をよりの確に防止し、かつ膜 (絶縁膜) 間の密着性をよりの確に向上することができる。従って、絶縁膜 21 (第 1 バリア絶縁膜) と絶縁膜 22 (第 2 バリア絶縁膜) を積層に形成し、絶縁膜 21 は配線 20 側に形成し、絶縁膜 22 は絶縁膜 23 側に形成することで、配線の信頼性をより向上することができる。

【0051】

また、下層のバリア絶縁膜 (第 1 バリア絶縁膜) としての絶縁膜 21 の膜厚が、上層のバリア絶縁膜 (第 2 バリア絶縁膜) としての絶縁膜 22 の膜厚よりも厚ければより好ましい。銅に対するバリア性が相対的に大きい (あるいは耐圧が相対的に高い) 絶縁膜 21 の膜厚を絶縁膜 22 の膜厚よりも厚くすることで、配線 20 の主導体膜 19 中の銅の拡散防止機能を高めることができ、また絶縁膜 21 および絶縁膜 22 からなる積層膜全体の耐圧を高めることができる。また、絶縁

膜 21 の膜厚は 40 nm 以下であればより好ましく、例えば 25 ~ 30 nm 程度であれば更に好ましい。これにより、銅に対する高いバリア性を確保できるとともに、配線間容量の低減も可能となる。また、絶縁膜 22 の膜厚は、10 nm 以下であればより好ましく、例えば 5 ~ 10 nm 程度であれば更に好ましい。これにより、絶縁膜 22 と絶縁膜 23 との間の密着性を確保できるとともに、配線間容量の低減も可能となる。

【0052】

また、絶縁膜 21 として、上記のように銅のバリア性に優れ、耐圧の高い炭窒化シリコン (SiCN) 膜を用いることで、配線 20 の主導体膜 19 中の銅の拡散をよりの確に防止し、配線の信頼性を向上することができる。

【0053】

また、他の形態として、絶縁膜 21 の材料に、炭窒化シリコン (SiCN) に酸素が添加された膜 (SiCON 膜)、あるいは炭化シリコン (SiC) に酸素 (O) が添加された膜 (SiOC 膜) などを用いることもできる。これにより、絶縁膜 21 の誘電率を小さくすることができるので、配線間容量を低減することができる。また、配線間のリーク電流をより低減することができる。従って、絶縁膜 21 の材料としては、シリコンと炭素とを含み、かつ窒素または酸素の少なくとも一方を含む材料を用いることができる。絶縁膜 21 として炭窒化シリコン (SiCN) 膜を用いた場合は、銅の拡散防止機能をより高め、配線の耐圧性もより向上することができ、絶縁膜 21 として炭窒化シリコン (SiCN) に酸素が添加された膜 (SiCON 膜) または炭化シリコン (SiC) に酸素 (O) が添加された膜 (SiOC 膜) を用いた場合は、配線間容量をより低減し、リーク電流もより低減することができる。

【0054】

次に、図 7 に示されるように、絶縁膜 22 上に、絶縁膜 (層間絶縁膜) 23、絶縁膜 (エッチングストッパ膜) 24、絶縁膜 (層間絶縁膜) 25、絶縁膜 (CMP 保護膜) 26 および絶縁膜 (ハードマスク層) 27 を順に形成する。絶縁膜 (層間絶縁膜) 23 は、上記絶縁膜 15 と同様の材料 (低誘電率材料) により形成することができ、塗布法または CVD 法などにより形成することができる。絶

縁膜（エッチングストッパ膜）24は、上記絶縁膜16と同様の材料（例えば酸化シリコン膜）により形成することができる。絶縁膜（層間絶縁膜）25は、上記絶縁膜15と同様の材料（低誘電率材料）により形成することができ、塗布法またはCVD法などにより形成することができる。絶縁膜（CMP保護膜）26は、上記絶縁膜16と同様の材料（例えば酸化シリコン膜）により形成することができる。絶縁膜26は、例えばCMP処理時における絶縁膜25の機械的強度の確保、表面保護および耐湿性の確保等のような機能を有することができるが、絶縁膜25が、例えばCMP工程における耐性を有する場合などは、絶縁膜26の形成を省略することもできる。絶縁膜（ハードマスク層）27は、例えば窒化シリコン膜（SiN）、炭化シリコン（SiC）膜、炭窒化シリコン（SiCN）膜、または酸化アルミニウム（AlO）膜により形成することができる。

【0055】

絶縁膜23は上記のような低誘電率材料からなるが、例えば炭化シリコン（SiC）に窒素（N）または酸素（O）を添加した材料膜（例えばSiCN膜、SiOC膜またはSiCON膜）のように窒素（N）または酸素（O）を含む材料膜（絶縁膜21に対応）上に上記のような低誘電率材料膜を形成した場合、下地膜（窒素（N）または酸素（O）を含む材料膜）と低誘電率材料膜との密着性（接着性）が低下する恐れがある。これは、膜間の剥離などを引き起こす恐れがあり、特に上層配線と下層配線とを接続するビアの底部近傍において剥離が生じた場合には、配線の信頼性を低下させる恐れがある。このような現象は、上記低誘電率材料全般において生じ得るが、低誘電率材料として、シリコン（Si）と酸素（O）と炭素（C）とを含む材料を用いた場合に顕著であり、例えば、酸炭化シリコン（有機シリカガラス、SiOC系材料、例えば上記Black Diamondなど）、MSQ（メチルシルセスキオキサン；methyl silsesquioxane）系材料またはHSQ（水素シルセスキオキサン；hydrogen silsesquioxane）系材料（それらのポーラス材料も含む）を低誘電率材料として用いた場合により顕著となる。

【0056】

本実施の形態では、窒素（N）または酸素（O）を含まない炭化シリコン（S

i C) 膜からなる絶縁膜 22 上に、低誘電率材料からなる絶縁膜 23 を形成するので、下地の絶縁膜 22 と低誘電率材料からなる絶縁膜 23 との間の密着性（接着性）を向上することができる。このため、絶縁膜 23 の材料として低誘電率材料、特にシリコン（Si）と酸素（O）と炭素（C）とを含む低誘電率材料を用いたとしても、絶縁膜 23 が下地層（絶縁膜 22）から剥離するのを防止することができる。このため、配線の信頼性を向上できる。

【0057】

次に、図 8 に示されるように、フォトリソグラフィ法を用いて絶縁膜 27 上にフォトレジストパターン 28 を形成する。それから、図 9 に示されるように、フォトレジストパターン 28 をエッチングマスクとして用いて絶縁膜 27 をドライエッチングする。これにより、絶縁膜 27 に開口部 29 が形成される。開口部 29 は、配線溝の形成予定領域に形成される。その後、フォトレジストパターン 28 を除去する。

【0058】

次に、図 10 に示されるように、開口部 29 を埋めるように絶縁膜 27 上にフォトレジスト膜を形成し、そのフォトレジスト膜を露光、現像してパターン化することにより、フォトレジストパターン 30 を形成する。それから、フォトレジストパターン 30 をエッチングマスクとして用いて絶縁膜 26、絶縁膜 25、絶縁膜 24 および絶縁膜 23 をドライエッチングする。これにより、絶縁膜 23 ～ 26 に開口部 31 が形成される。開口部 31 は、ビア（孔）の形成予定領域に形成される。従って、開口部 31 の平面領域は、開口部 29 の平面領域に含まれる。また、このドライエッチングの際には、絶縁膜 22（および絶縁膜 21）をエッチングストップ膜として機能させることで、開口部 31 の底部で絶縁膜 22 および絶縁膜 21 を残存させ、配線 20 の上面が露出しないようにすることができる。これにより、配線 20 上面の自然酸化膜の形成を防止できる。また、ドライエッチングによって配線 20 の主導体膜 19 の銅が飛散するのを防止することができる。その後、フォトレジストパターン 30 を除去する。

【0059】

次に、図 11 に示されるように、絶縁膜 27 をエッチングマスク（ハードマス

ク)として用いて絶縁膜26および絶縁膜25をドライエッチングする。これにより、絶縁膜24～27に開口部29が形成される。このドライエッチングの際、開口部31の底部では絶縁膜21、22が存在(残存)するので、配線20がエッチングされるのを防止することができる。

【0060】

次に、図12に示されるように、開口部29の底部で絶縁膜24をドライエッチングにより除去し、開口部31の底部で絶縁膜22および絶縁膜21をドライエッチングにより除去する。これにより、開口部31の底部で配線20の上面が露出される。そして、絶縁膜27をドライエッチングにより除去する。絶縁膜27は、開口部31の底部で絶縁膜22および絶縁膜21を除去する工程と同じドライエッチング工程、あるいはそれとは別のドライエッチング工程によって除去することができる。絶縁膜27を除去した後に残存する絶縁膜26は、CMP工程の保護膜などとして機能することができる。

【0061】

次に、開口部31の底部で露出する配線20(下層銅配線)の表面に形成された酸化銅を除去して配線20の露出した上面を清浄化(クリーニング)する処理を行う。これは、例えば水素(H_2)プラズマ処理のような還元性プラズマ処理により、銅配線表面の酸化銅(CuO 、 Cu_2O 、 CuO_2)を銅(Cu)に還元することにより行うことができる。

【0062】

次に、図13に示されるように、開口部29および開口部31の底部および側面を含む絶縁膜26上に、導電性バリア膜18と同様の材料からなる導電性バリア膜32を同様の手法を用いて形成し、それから、導電性バリア膜32上に、開口部29および開口部31内を埋めるように、主導体膜19と同様の材料からなる主導体膜33を同様の手法を用いて形成し、そして、主導体膜33および導電性バリア膜32を例えばCMP法によって、絶縁膜26の上面が露出するまで研磨する。絶縁膜26上の不要な導電性バリア膜32および主導体膜33を除去し、配線開口部としての開口部29、31内に導電性バリア膜32および主導体膜33を残すことにより、図13に示されるように、相対的に薄い導電性バリア膜

32と相対的に厚い主導体膜33とからなる配線（第2層配線）34を開口部29および開口部31内に形成する。開口部（配線溝）29に埋め込まれた導電性バリア膜32と主導体膜33とからなる配線部は、開口部（ビア）31に埋め込まれた導電性バリア膜32と主導体膜33とからなるビア部を介して下層配線である配線20と電氣的に接続されている。

【0063】

本実施の形態では、低誘電率材料からなる絶縁膜15, 23, 25上には酸化シリコン（または酸窒化シリコン）などからなる絶縁膜16, 24, 26が形成されている。他の形態として、例えば絶縁膜15, 23, 25が酸素プラズマによりダメージを受け得る低誘電率材料からなる場合などは、絶縁膜15, 23, 25上に酸素（O₂）プラズマなどの酸化性プラズマを用いることなく形成した薄い絶縁膜、例えば炭化シリコン（SiC）膜を形成し、その上に絶縁膜16, 24, 26を形成することもできる。図14は、他の形態の半導体装置の製造工程中の要部断面図であり、図13に対応する。図14では、低誘電率材料からなる絶縁膜15, 23, 25上に、酸素（O₂）プラズマなどの酸化性プラズマを用いることなく形成した薄い絶縁膜、例えば炭化シリコン（SiC）膜からなる絶縁膜16a, 24a, 26aが形成され、絶縁膜16a, 24a, 26a上に酸化シリコン（または酸窒化シリコン）などからなる絶縁膜16, 24, 26が形成されている。これにより、絶縁膜15, 23, 25のダメージ（変質）を防止し、絶縁膜15, 23, 25と絶縁膜16, 24, 26との密着性を向上させることができる。

【0064】

図15および図16は、図13に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図を示している。なお、図15および図16においても、図1の絶縁膜11より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0065】

図13の構造が得られた後、半導体基板1をプラズマCVD装置の処理室内に配置し、アンモニアガスを導入してプラズマ電源を印加することにより、半導体基板1（特に配線34が露出するCMP面）に対して、アンモニア（NH₃）プ

ラズマ処理を施す。あるいは、 N_2 ガスおよび H_2 ガスを導入して、 N_2/H_2 プラズマ処理を施す。このような還元性プラズマ処理により、CMPで酸化された銅配線表面の酸化銅 (CuO 、 Cu_2O 、 CuO_2) を銅 (Cu) に還元し、更に、窒化銅 (CuN) 層が配線 20 の表面 (ごく薄い領域) に形成される。

【0066】

それから、必要に応じて洗浄を行った後、図 15 に示されるように、半導体基板 1 の主面の全面上に、上記絶縁膜 21 および絶縁膜 22 と同様の材料からなり、同様の機能を有する絶縁膜 (第 1 バリア絶縁膜) 35 および絶縁膜 (第 2 バリア絶縁膜) 36 を、同様の手法を用いて順に形成する。すなわち、配線 34 の上面上を含む絶縁膜 26 上に、絶縁膜 35 および絶縁膜 36 を順に形成する。これにより、配線 34 の主導体膜 33 中の銅の拡散を的確に防止できるとともに、絶縁膜 36 上に形成される絶縁膜 37 (層間絶縁膜、低誘電率材料膜) との密着性を向上することができる。

【0067】

それから、図 16 に示されるように、絶縁膜 36 上に、絶縁膜 23, 24, 25, 26 と同様にして絶縁膜 (低誘電率材料膜) 37、絶縁膜 (酸化シリコン膜) 38、絶縁膜 (低誘電率材料膜) 39 および絶縁膜 (酸化シリコン膜) 40 を形成し、開口部 29 および開口部 31 と同様にして絶縁膜 38, 39, 40 における開口部 (配線溝) 41 と絶縁膜 35, 36, 37 における開口部 (ビア) 42 とを形成し、配線 34 と同様にして、開口部 41 および開口部 42 を埋める、導電性バリア膜 43 および主導体膜 (銅膜) 44 からなる配線 (第 3 層配線) 45 を形成する。その後、配線 45 の上面上を含む絶縁膜 40 上に、上記絶縁膜 21 および絶縁膜 22 と同様にしてバリア絶縁膜を形成し、バリア絶縁膜上に層間絶縁膜 (低誘電率材料膜) などが形成されて更に上層配線が形成され得るが、ここではその説明は省略する。

【0068】

本発明者の検討によれば、埋込銅配線を有する半導体装置においては、高温放置することなどにより、ストレスマイグレーションによって埋込銅配線の電気抵抗が上昇することが分かった。この際、下層埋込銅配線の上面と、上層埋込銅配

線のビア部との間に、空隙またはボイドが形成される。このため、下層埋込銅配線と上層埋込銅配線の間の接続面積が低減し、電気抵抗の上昇が生じてしまう。また、ボイドが形成されたことにより下層埋込銅配線と上層埋込銅配線との間で断線が生じる恐れもある。これらは、配線の信頼性を低下させ、半導体装置の製造歩留まりを低減させ、製造コストを増大させる。

【 0 0 6 9 】

また、埋込銅配線を有する半導体装置においては、埋込銅配線の T D D B (Time Dependence on Dielectric Breakdown) 寿命を向上させることも要求される。なお、T D D B (Time Dependence on Dielectric Breakdown) 寿命とは、絶縁破壊の時間的依存性を客観的に計る尺度であって、所定の温度（例えば 1 4 0 ℃）の測定条件下で電極間に比較的高い電圧を加え、電圧印加から絶縁破壊までの時間を印加電界に対してプロットしたグラフを作成し、このグラフから実際の使用電界強度（例えば 0 . 2 M V / c m）に外挿して求めた時間（寿命）をいう。本発明者の検討によれば、T D D B 寿命試験においては、同層の埋込銅配線における隣接する配線間で、配線中の銅イオンが配線間の電界によりドリフトされ、絶縁破壊が引き起こされることが分かった。

【 0 0 7 0 】

従って、埋込銅配線のストレスマイグレーションによる劣化防止と T D D B 寿命の向上の両立が求められる。

【 0 0 7 1 】

本実施の形態では上層銅配線（例えば配線 3 4）のビア部（例えば開口部 3 1 に埋め込まれた導電性バリア膜 3 2 と主導体膜 3 3）の底部近傍において、下層銅配線（例えば配線 2 0）の上面を覆うバリア絶縁膜として、第 1 バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 2 1）と第 2 バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 2 2）とを用いている。下層側の第 1 バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 2 1）として、銅のバリア性に優れた材料膜（例えば炭窒化シリコン（S i C N）膜）を用い、上層側の第 2 バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 2 2）として層間絶縁膜（低誘電率材料膜、例えば絶縁膜 2 3）との密着性に優れた材料膜（例えば炭化シリコン（S i C）膜）を用いている。これにより、銅配線（例えば配線 2 0）の銅の拡散を防止できるとともに

、バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 21, 22）と層間絶縁膜（低誘電率材料膜、例えば絶縁膜 23）との密着性を向上することができる。

【0072】

図 17 は、埋込銅配線の TDD B 寿命試験の結果を示すグラフである。図 17 のグラフの横軸は、配線間に印加した電界強度に対応し、縦軸は電圧印加から絶縁破壊までの時間に対応する。このグラフから実際の使用電界強度（例えば 0.2 MV/cm）に外挿して求めた時間（寿命）を TDD B 寿命とすることができる。

【0073】

図 17 では、本実施の形態のように第 1 バリア絶縁膜（下層）として 25 nm の膜厚の炭窒化シリコン（SiCN）膜と第 2 バリア絶縁膜（上層）として 25 nm の膜厚の炭化シリコン（SiC）膜とを用いた場合（図 17 のグラフにおける白丸に対応）だけでなく、第 1 の比較例として、バリア絶縁膜として 50 nm の膜厚の炭窒化シリコン（SiCN）膜の単層を用いた場合（図 17 のグラフにおける白四角に対応し、本実施の形態と比較して第 2 バリア絶縁膜の形成を省略した場合に相当する）、第 2 の比較例としてバリア絶縁膜として 50 nm の膜厚の炭化シリコン（SiC）膜の単層を用いた場合（図 17 のグラフにおける黒四角に対応し、本実施の形態と比較して第 1 バリア絶縁膜の形成を省略した場合に相当する）、および第 3 の比較例として、第 1 バリア絶縁膜（下層）として 25 nm の膜厚の炭化シリコン（SiC）膜と第 2 バリア絶縁膜（上層）として 25 nm の膜厚の炭窒化シリコン（SiCN）膜とを用いた場合（図 17 のグラフにおける黒丸に対応し、本実施の形態と比較して第 1 バリア絶縁膜と第 2 バリア絶縁膜とが逆になった場合に相当する）についても記載してある。

【0074】

図 17 のグラフから分かるように、本実施の形態では、バリア絶縁膜を積層構造とし、埋込銅配線に接する第 1 バリア絶縁膜に銅のバリア性に優れた炭窒化シリコン（SiCN）膜を用いているので、配線中の銅の拡散を的確に抑制または防止でき、配線の TDD B 寿命を比較的長く（良好に）することができる。一方、埋込銅配線に接するバリア絶縁膜に銅のバリア性が相対的に劣る炭化シリコン

(SiC)膜を用いた場合(上記第2の比較例および第3の比較例に対応)では、配線中の銅が拡散しやすくなり、配線のTDDB寿命が劣化してしまう。このように、〔非特許文献1〕に示されるような、埋込銅配線に接するバリア絶縁膜に炭化シリコン(SiC)膜を用いた場合よりも、銅のバリア性が相対的に優れている窒化シリコン(SiCN)膜を用いることで、配線のTDDB寿命を向上させることができる。

【0075】

図18～図20は、埋込銅配線の高温放置試験(例えば150℃で100時間放置)後の抵抗上昇率を示すグラフである。図18～図20のグラフの横軸が高温放置試験後の埋込銅配線の電気抵抗の変化率または上昇率(高温放置試験前の電気抵抗を基準とした電気抵抗の増加率)に対応し、図18～図20のグラフの縦軸が累積分布または累積確率(Cumulative Probability)に対応する。図18は、埋込銅配線のバリア絶縁膜として、本実施の形態のように、炭窒化シリコン(SiCN)膜(ここでは膜厚25nm)からなる第1バリア絶縁膜(下層)と、その上の炭化シリコン(SiC)膜(ここでは膜厚25nm)からなる第2バリア絶縁膜(上層)との積層膜を用いた場合に対応する。また、図19は、埋込銅配線のバリア絶縁膜として、50nmの膜厚の炭窒化シリコン(SiCN)膜の単層を用いた上記第1の比較例の場合に対応する。また、図20は、埋込銅配線のバリア絶縁膜として、50nmの膜厚の炭化シリコン(SiC)膜の単層を用いた上記第2の比較例の場合に対応する。また、図18～図20のそれぞれでは、配線幅を種々の値に変えた場合について実験が行われ、結果がプロットされている。

【0076】

図18～図20から分かるように、高温放置することにより埋込銅配線の電気抵抗が上昇している。また、図18～図20のそれぞれにおいて、配線幅を大きくすることにより、埋込銅配線の電気抵抗の上昇率は大きくなる傾向にある。

【0077】

バリア絶縁膜として低誘電率材料膜との密着性が相対的に低い炭窒化シリコン(SiCN)膜を用い、炭窒化シリコン(SiCN)膜上に層間絶縁膜として低

誘電率材料膜を形成した上記第1の比較例の場合は、図19に示されるように、高温放置による埋込銅配線の電気抵抗の上昇率が高い。これは、バリア絶縁膜としての炭窒化シリコン(SiCN)膜上に層間絶縁膜としての低誘電率材料膜を形成すると、上層銅配線のビア部の底部近傍においてバリア絶縁膜と低誘電率材料膜との間の密着性(接着性)が低下し、ストレスマイグレーションによる不良が生じやすくなるためと考えられる。

【0078】

それに対して、本実施の形態では、図18に示されるように、高温放置による埋込銅配線の電気抵抗の上昇を抑制することができ、ストレスマイグレーションによる不良の発生を抑制または防止することができる。

【0079】

本実施の形態では、バリア絶縁膜を積層構造とし、低誘電率材料膜に接する側の第2バリア絶縁膜に低誘電率材料膜との密着性に優れた膜(炭化シリコン(SiC)膜)を用いることにより、バリア絶縁膜(例えば絶縁膜21, 22)と層間絶縁膜(低誘電率材料膜、例えば絶縁膜23)との密着性を向上できるので、上層銅配線(例えば配線34)のビア部(例えば開口部31に埋め込まれた導電性バリア膜32および主導体膜33)の底部近傍におけるバリア絶縁膜(例えば絶縁膜21, 22)と層間絶縁膜(例えば絶縁膜23)との間の密着性(接着強度)を向上でき、上記のようなストレスマイグレーションによる不具合、例えば上層銅配線(例えば配線34)のビア部と下層銅配線(例えば配線20)の上面との間における空隙またはボイドの発生や上層銅配線(例えば配線34)と下層銅配線(例えば配線20)との間の抵抗上昇など、を抑制または防止することができる。

【0080】

なお、上記のような効果は、下層銅配線として配線20を適用し上層銅配線として配線34を適用した場合、下層銅配線として配線34を適用し上層銅配線として配線45を適用した場合、および下層銅配線として配線45を適用し上層銅配線として配線45の更に上層の配線(図示せず)を適用した場合のいずれについても得ることができる。

【0081】

本実施の形態では、銅配線とバリア絶縁膜との間の銅のバリア性（銅の拡散防止）の向上と、バリア絶縁膜と層間絶縁膜（低誘電率材料膜）との密着性向上との両立が可能となり、配線のTDD寿命の向上とストレスマイグレーション特性の向上とを実現できる。これにより、配線の信頼性を向上することができる。また、半導体装置の製造歩留まりを低減し、製造コストも低減できる。

【0082】

（実施の形態2）

図21および図22は、本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。図5までの製造工程は上記実施の形態1と同様であるので、ここではその説明は省略し、図5に続く製造工程について説明する。なお、図21および図22においても、図1の絶縁膜11より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0083】

図5に示される構造が得られた後、上記実施の形態1と同様にして還元性プラズマ処理を施し、更に必要に応じて洗浄を行った後、図21に示されるように、半導体基板1の主面の全面上に絶縁膜（バリア絶縁膜）51を例えばプラズマCVD法などによって形成する。すなわち、配線20の上面上を含む絶縁膜16上に、絶縁膜51を形成する。

【0084】

絶縁膜51は、炭窒化シリコン（SiCN）膜により形成されるが、絶縁膜51中の厚み方向の窒素（N）濃度分布は後述するように均一ではない。

【0085】

それから、図22に示されるように、絶縁膜51上に、上記実施の形態1と同様に絶縁膜23、24、25、26、27を形成する。

【0086】

図23は、絶縁膜51の厚み方向（半導体基板1の主面に垂直な方向）における窒素（N）濃度分布を模式的に示すグラフである。図23のグラフの横軸は、絶縁膜51の下層である配線20（または絶縁膜16）の上部領域から絶縁膜5

1の上層である絶縁膜23の下部領域にかけての厚み(膜厚)方向の位置(arbitrary unit:任意単位)に対応し、図23のグラフの縦軸は、膜中の窒素(N)濃度(arbitrary unit:任意単位)に対応する。

【0087】

図23のグラフに示されるように、本実施の形態では、配線20と絶縁膜51との界面近傍領域における絶縁膜51の窒素(N)濃度は、絶縁膜51とその上層の絶縁膜23との界面近傍領域における絶縁膜51の窒素(N)濃度よりも大きい。例えば、絶縁膜51において、下部(配線20または絶縁膜16側)の高窒素(N)濃度領域51aとその上部(絶縁膜23側)の低窒素(N)濃度領域51bとを有している。

【0088】

絶縁膜51は、例えば窒素ガスを用いたCVD法によって連続的に形成することができる。例えば、絶縁膜51の成膜初期段階では成膜装置へ導入する窒素ガスの流量を相対的に多くして高窒素濃度領域51aの絶縁膜51を形成し、絶縁膜51の成膜後期段階では成膜装置へ導入する窒素ガスの流量を相対的に少なくして低窒素濃度領域51bの絶縁膜51を形成することができる。また、絶縁膜51の成膜後期段階では成膜装置への窒素ガスの導入を停止(流量をゼロに)して、絶縁膜51の低窒素濃度領域51bにおける窒素濃度を非常に小さなもの(あるいはゼロ)とすることもできる。

【0089】

炭窒化シリコン(SiCN)膜は、窒素濃度を高くすることで、銅のバリア性(銅の拡散を抑制または防止する機能)を向上させ、また耐圧を高めることができる。一方、炭窒化シリコン(SiCN)膜は、窒素濃度を低くすることで、低誘電率材料膜との密着性(接着性)を向上させることができる。窒素濃度が高い炭窒化シリコン(SiCN)膜上に低誘電率材料膜を形成すると、下地膜(窒素濃度が高い膜)と低誘電率材料膜との密着性(接着性)が低下する恐れがある。これは、膜間の剥離などを引き起こす恐れがあり、配線の信頼性を低下させる。このような現象は、上記低誘電率材料全般において生じ得るが、低誘電率材料として、シリコン(Si)と酸素(O)と炭素(C)とを含む材料を用いた場合に

顕著であり、例えば、酸炭化シリコン（有機シリカガラス、 SiOC 系材料、例えば上記Black Diamondなど）、MSQ（メチルシルセスキオキサン；methyl silsesquioxane）系材料またはHSQ（水素シルセスキオキサン；hydrogen silsesquioxane）系材料（それらのポーラス材料も含む）を低誘電率材料として用いた場合により顕著となる。

【0090】

本実施の形態では、炭窒化シリコン（ SiCN ）からなる絶縁膜51の配線20と接する領域を高窒素（N）濃度領域51aとすることで、配線20の銅の拡散を絶縁膜51に的確に防止でき、絶縁膜51の絶縁膜（低誘電率材料膜）23と接する領域を低窒素（N）濃度領域51bとすることで、絶縁膜51と絶縁膜（低誘電率材料膜）23との密着性を向上することができる。このように、配線20と絶縁膜51との界面近傍領域における絶縁膜51の窒素（N）濃度を、絶縁膜51とその上層の絶縁膜23との界面近傍領域における絶縁膜51の窒素（N）濃度よりも大きくすることで、絶縁膜51における銅のバリア性と上層の低誘電率材料膜との密着性の両立を図ることが可能となる。また、絶縁膜51の絶縁膜（低誘電率材料膜）23と接する領域を、窒素を含まない炭化シリコンではなく、炭窒化シリコン（ SiCN ）によって構成しているので、バリア絶縁膜51全体の銅の拡散防止機能や耐圧性をより高めることができる。

【0091】

図24および図25は、図22に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図を示している。なお、図24および図25においても、図1の絶縁膜11より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0092】

図22の構造が得られた後、上記実施の形態1における図8～図13に対応する工程と同様の工程などが行われて、開口部29および開口部31やそこに埋め込まれた配線34が形成され、図24の構造が得られる。それから、図25に示されるように、絶縁膜51と同様の材料からなり同様の窒素（N）濃度分布を有する絶縁膜52をバリア絶縁膜として配線34の上面上を含む絶縁膜26上に形成する。そして、バリア絶縁膜としての絶縁膜52上に、上記実施の形態1と同

様にして絶縁膜 37, 38, 39, 40 を形成し、開口部 41, 42 を形成し、開口部 41, 42 に埋め込まれた導電性バリア膜 43 および銅の主導体膜 44 からなる配線 45 を形成する。その後、配線 45 の上面上を含む絶縁膜 40 上に、絶縁膜 51 と同様にしてバリア絶縁膜を形成し、バリア絶縁膜上に層間絶縁膜（低誘電率材料膜）などが形成されて更に上層配線が形成され得るが、ここではその説明は省略する。

【0093】

本実施の形態では、上層銅配線（配線 34）のビア部（開口部 31 に埋め込まれた導電性バリア膜 32 と主導体膜 33）の底部近傍において、下層銅配線（配線 20）の上面を覆うバリア絶縁膜として、絶縁膜 51 を用いている。絶縁膜 51 は、炭窒化シリコン（SiCN）膜からなるが、膜厚方向の窒素（N）濃度分布は均一ではない。本実施の形態では、配線 20 と絶縁膜 51 との界面近傍領域における絶縁膜 51 の窒素（N）濃度は、絶縁膜 51 とその上層の絶縁膜 23 との界面近傍領域における絶縁膜 51 の窒素（N）濃度よりも大きい。これにより、銅配線（配線 20）とバリア絶縁膜（絶縁膜 51）との間の銅のバリア性（銅の拡散防止）の向上と、バリア絶縁膜（絶縁膜 51）と層間絶縁膜（低誘電率材料膜、絶縁膜 23）との密着性向上との両立が可能となる。このような効果は、配線 20 のバリア絶縁膜としての絶縁膜 51、配線 34 のバリア絶縁膜としての絶縁膜 52、および配線 45 のバリア絶縁膜（図示せず）のいずれについても得ることができる。このため、配線の TDDb 寿命の向上とストレスマイグレーション特性の向上とを実現できる。これにより、配線の信頼性を向上することができる。また、半導体装置の製造歩留まりを低減し、製造コストも低減できる。

【0094】

また、上記実施の形態 1 と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。すなわち、上記実施の形態 1 のように絶縁膜 21 および絶縁膜 22（または絶縁膜 35 および絶縁膜 36）の積層膜からなるバリア絶縁膜を用いた配線（配線層）と、本実施の形態のような絶縁膜 51（または絶縁膜 52）からなるバリア絶縁膜を用いた配線（配線層）とを混在させることもできる。

【0095】

(実施の形態3)

図26～図32は、本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。図9までの製造工程は上記実施の形態1と同様であるので、ここではその説明は省略し、図9に続く製造工程について説明する。なお、図26～図32においても、図1の絶縁膜11より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0096】

図9に示される構造が得られた後、図26に示されるように、第2のハードマスク層として、開口部29を埋めるように絶縁膜27上に、絶縁膜61を形成する。絶縁膜61は、例えば酸化シリコン(SiO)膜、酸窒化シリコン(SiON)膜または酸炭化シリコン(SiOC)膜などの、エッチングの選択比が絶縁膜24および絶縁膜27とは異なり、更に絶縁膜25とのエッチングの選択比も異なる材料により形成することができる。

【0097】

次に、図27に示されるように、絶縁膜61上にフォトレジスト膜を形成し、そのフォトレジスト膜を露光、現像してパターン化することにより、フォトレジストパターン62を形成する。それから、フォトレジストパターン62をエッチングマスクとして用いて絶縁膜61をドライエッチングして、絶縁膜61に開口部31を形成する。なお、開口部31はビアの形成予定領域に形成され、開口部(ビア)31の平面領域は、開口部(配線溝)29の平面領域に含まれる。その後、フォトレジストパターン62をアッシングなどにより除去する。

【0098】

それから、図28に示されるように、絶縁膜61をエッチングマスク(ハードマスク)として用いて、開口部31の底部において絶縁膜26および絶縁膜25をドライエッチングする。その後、絶縁膜61をドライエッチングなどにより除去する。

【0099】

次に、図29に示されるように、絶縁膜27をエッチングマスク(ハードマス

ク)として用いて、開口部29の底部において絶縁膜26および絶縁膜25をドライエッチングし、開口部31の底部において絶縁膜24および絶縁膜23をドライエッチングする。このドライエッチングの際、絶縁膜22(および絶縁膜21)がエッチングストッパ膜として機能し、開口部31の底部では絶縁膜21, 22が存在(残存)するので、配線20がエッチングされるのを防止することができる。

【0100】

次に、図30に示されるように、開口部29の底部で絶縁膜24をドライエッチングにより除去し、開口部31の底部で絶縁膜22および絶縁膜21をドライエッチングにより除去する。これにより、開口部31の底部で配線20の上面が露出される。そして、絶縁膜27をドライエッチングにより除去する。絶縁膜27は、開口部31の底部で絶縁膜22および絶縁膜21を除去する工程と同じドライエッチング工程、あるいはそれとは別のドライエッチング工程によって除去することができる。絶縁膜27を除去した後に残存する絶縁膜26は、CMP工程の保護膜などとして機能することができる。

【0101】

次に、図31に示されるように、上記実施の形態1と同様にして、開口部29, 31内に、導電性バリア膜32および銅の主導体膜33からなる配線34を形成する。その後、図32に示されるように、配線34の上面を含む絶縁膜26上に、上記実施の形態1と同様にして絶縁膜35, 36, 37, 38, 39, 40が形成され、本実施の形態における開口部29, 31の形成工程と同様の手法を用いて、絶縁膜35~40に開口部41, 42を形成し、上記実施の形態1と同様にして開口部41, 42内に導電性バリア膜43および銅の主導体膜44からなる配線45を形成する。その後、配線45の上面を含む絶縁膜40上に、上記絶縁膜21および絶縁膜22と同様にしてバリア絶縁膜を形成し、バリア絶縁膜上に層間絶縁膜(低誘電率材料膜)などが形成されて更に上層配線が形成され得るが、ここではその説明は省略する。

【0102】

本実施の形態では、上記実施の形態1と同様の効果を得ることができる。更に

、本実施の形態では、開口部 29, 31 を形成するために低誘電率材料からなる絶縁膜 23, 25 をドライエッチングする際に、エッチングマスクとしてフォトレジストパターンを用いずに、ハードマスクとしての絶縁膜 61 と絶縁膜 27 とを用いている。このため、低誘電率材料からなる絶縁膜 23, 25 が露出した状態でフォトレジストパターンを除去（アッシング）することがない。このため、フォトレジストパターンのアッシングなどにより低誘電率材料膜（絶縁膜 23, 25）が変質（またはダメージを受ける）するのを防止することができる。これにより、半導体装置の信頼性をより向上することができる。

【0103】

また、上記実施の形態 2 と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0104】

（実施の形態 4）

図 33～図 42 は、本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。図 6 までの製造工程は上記実施の形態 1 と同様であるので、ここではその説明は省略し、図 6 に続く製造工程について説明する。なお、図 33～図 42 においても、図 1 の絶縁膜 11 より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0105】

上記実施の形態 1～3 では、いわゆるデュアルダマシン（Dual-Damascene）技術を用いて配線 34（配線 45）を形成した。本実施の形態では、いわゆるシングルダマシン（Single-Damascene）技術を用いて配線 34（配線 45）を形成する。

【0106】

図 6 の構造が得られた後、図 33 に示されるように、絶縁膜 22 上に、上記実施の形態 1 と同様にして絶縁膜 23 および絶縁膜 24 を形成する。それから、本実施の形態では、絶縁膜 24 上に、例えば窒化シリコン膜（SiN）、炭化シリコン（SiC）膜、炭窒化シリコン（SiCN）膜または酸化アルミニウム（AlO）膜などからなる絶縁膜（ハードマスク層）71 を形成する。そして、絶縁膜 71 上にフォトリソグラフィ法を用いてフォトレジストパターン 72 を形成す

る。

【0107】

次に、図34に示されるように、フォトレジストパターン72をエッチングマスクとして用いて絶縁膜71をドライエッチングして、絶縁膜71に開口部31aを形成する。なお、開口部31aはビアの形成予定領域に形成され、上記実施の形態1の開口部31に対応する。その後、フォトレジストパターン72をアッシングなどにより除去する。

【0108】

次に、図35に示されるように、絶縁膜71をエッチングマスク（ハードマスク）として用いて絶縁膜24および絶縁膜23をドライエッチングする。低誘電率材料膜からなる絶縁膜23をドライエッチングする際にフォトレジストパターンを用いないので、フォトレジストパターンの除去（アッシング）による絶縁膜（低誘電率材料膜）23の変質（ダメージ）を防止できる。また、このドライエッチングの際には、絶縁膜22（および絶縁膜21）をエッチングストッパ膜として機能させることで、開口部31aの底部で絶縁膜22および絶縁膜21を残存させ、配線20がエッチングされるのを防止することができる。

【0109】

次に、図36に示されるように、開口部31aの底部で絶縁膜22および絶縁膜21をドライエッチングにより除去する。これにより、開口部31aの底部で配線20の上面が露出される。そして、絶縁膜71をドライエッチングにより除去する。絶縁膜71は、開口部31aの底部で絶縁膜22および絶縁膜21を除去する工程と同じドライエッチング工程、あるいはそれとは別のドライエッチング工程によって除去することができる。絶縁膜71を除去した後に残存する絶縁膜24は、実施の形態1における絶縁膜16、26と同様にCMP工程の保護膜などとして機能することができ、例えば酸化シリコン（SiO）膜で形成することができる。

【0110】

次に、図37に示されるように、配線20形成工程と同様にして、開口部31a内に、導電性バリア膜73および銅の主導体膜74からなるプラグ75を形成

する。例えば、半導体基板 1 の主面上の全面（開口部 31a の底部および側壁上を含む絶縁膜 24 上）に、例えば窒化チタン（TiN）などからなる導電性バリア膜 73 を形成し、導電性バリア膜 73 上に開口部 31a 内を満たす（埋める）ように銅（または銅合金）からなる主導体膜 74 を形成し、主導体膜 74 および導電性バリア膜 73 を例えば CMP 法によって、絶縁膜 24 の上面が露出するまで研磨する。このようにして、絶縁膜 24 上の不要な導電性バリア膜 73 および主導体膜 74 を除去し、開口部 31a 内に導電性バリア膜 73 および主導体膜 74 を残すことにより、相対的に薄い導電性バリア膜 73 と相対的に厚い主導体膜 74 とからなるプラグ 75 を形成する。形成されたプラグ 75 は、配線 20 と電気的に接続されている。

【0111】

それから、還元性プラズマ処理や必要に応じて洗浄を行った後、図 38 に示されるように、半導体基板 1 の主面の全面上（プラグ 75 の上面を含む絶縁膜 24 上）に例えば窒化シリコン膜などからなる絶縁膜 76 を形成し、絶縁膜 76 上に、上記実施の形態 1 と同様にして絶縁膜 25、26、27 を形成する。不要であれば、絶縁膜 76 の形成を省略することもできる。そして、絶縁膜 27 上に、フォトリソグラフィ法を用いてフォトレジストパターン 77 を形成する。

【0112】

次に、図 39 に示されるように、フォトレジストパターン 77 をエッチングマスクとして用いて絶縁膜 27 をドライエッチングして、絶縁膜 27 に開口部 29a を形成する。なお、開口部 29a は配線溝の形成予定領域に形成され、上記実施の形態 1 の開口部 29 に対応する。従って、開口部 29a の平面領域は開口部 31a の平面領域を含む。その後、フォトレジストパターン 77 をアッシングなどにより除去する。

【0113】

次に、図 40 に示されるように、絶縁膜 27 をエッチングマスク（ハードマスク）として用いて絶縁膜 26 および絶縁膜 25 をドライエッチングする。低誘電率材料膜からなる絶縁膜 25 をドライエッチングする際にフォトレジストパターンを用いないので、フォトレジストパターンの除去（アッシング）による絶縁膜

(低誘電率材料膜) 25の変質(ダメージ)を防止できる。それから、開口部 29aの底部で絶縁膜 76をドライエッチングにより除去する。これにより、開口部 29aの底部で配線 20の上面が露出される。なお、絶縁膜 76の形成を省略した場合は、上記絶縁膜 26および絶縁膜 25のドライエッチングにより、開口部 29aの底部で配線 20の上面が露出される。そして、絶縁膜 27をドライエッチングにより除去する。絶縁膜 27は、開口部 29aの底部で絶縁膜 76を除去する工程と同じドライエッチング工程、あるいはそれとは別のドライエッチング工程によって除去することができる。絶縁膜 27を除去した後に残存する絶縁膜 26は、CMP工程の保護膜などとして機能することができる。

【0114】

次に、図 41に示されるように、配線 20形成工程と同様にして、開口部 29a内に、導電性バリア膜 78および銅の主導体膜 79からなる配線(第 2層配線) 80を形成する。例えば、半導体基板 1の主面上の全面(開口部 29aの底部および側壁上を含む絶縁膜 26上)に、例えば窒化チタン(TiN)などからなる導電性バリア膜 78を形成し、導電性バリア膜 78上に開口部 29a内を満たす(埋める)ように銅(または銅合金)からなる主導体膜 79を形成し、主導体膜 79および導電性バリア膜 78を例えばCMP法によって、絶縁膜 26の上面が露出するまで研磨する。このようにして、絶縁膜 26上の不要な導電性バリア膜 78および主導体膜 79を除去し、開口部 29a内に導電性バリア膜 78および主導体膜 79を残すことにより、相対的に薄い導電性バリア膜 78と相対的に厚い主導体膜 79とからなる配線 80を形成する。形成された配線 80は、プラグ 75を介して配線 20と電氣的に接続されている。

【0115】

それから、図 42に示されるように、配線 80上に、バリア絶縁膜として上記実施の形態 1と同様にして絶縁膜 35および絶縁膜 36が形成される。その後、本実施の形態のようなプラグ 75および配線 80の形成工程と同様にして、配線 80に電氣的に接続された更に上層のプラグおよび配線が形成され得るが、ここではその説明は省略する。

【0116】

本実施の形態では、上記実施の形態1と同様の効果を得ることができる。更に、本実施の形態では、開口部31a, 29aを形成するために低誘電率材料からなる絶縁膜23, 25をドライエッチングする際に、エッチングマスクとしてフォトレジストパターンを用いずに、ハードマスクとしての絶縁膜71と絶縁膜27とを用いている。このため、低誘電率材料からなる絶縁膜23, 25が露出した状態でフォトレジストパターンを除去（アッシング）することがない。このため、フォトレジストパターンのアッシングなどにより低誘電率材料膜（絶縁膜23, 25）が変質（またはダメージを受ける）するのを防止することができる。これにより、半導体装置の信頼性をより向上することができる。

【0117】

また、上記実施の形態2と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0118】

（実施の形態5）

図43～図46は、本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。図5までの製造工程は上記実施の形態1と同様であるので、ここではその説明は省略し、図5に続く製造工程について説明する。なお、図43～図46においても、図1の絶縁膜11より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0119】

図5の構造が得られた後、図43に示されるように、配線20の主導体膜19の表面近傍（例えば20nm以下程度）に膜91を形成する。膜91は、銅（Cu）より拡散係数の小さい銅（Cu）化合物あるいは銅（Cu）以外の金属からなる。

【0120】

膜91は、例えば次のようにして形成することができる。図5の構造が得られた後、配線20の表面が露出した状態で、半導体基板1に対して、アンモニア（ NH_3 ）プラズマ処理など施すことにより、配線20の表面に窒化銅（CuN）層を形成して、窒化銅（CuN）からなる膜91を形成することができる。この際、配線20の表面（および絶縁膜16の表面）を洗浄する処理を行って、配線

20の表面を清浄化後に、清浄化された配線20の表面に窒化銅(CuN)からなる膜91を形成すれば、より好ましい。

【0121】

あるいは、膜91は、次のようにして形成することもできる。配線20の表面が露出した状態で、半導体基板1に対して、アンモニア(NH₃)プラズマ処理などを施した後、モノシランガスを吹き付けることなどにより、微量(例えば1~2原子%程度)のシリコン(Si)を含む(添加した)銅層(CuSi_x層)を配線20の表面に形成して、シリコンを添加した銅からなる膜91を形成することができる。また、少量のアルミニウム(Al)を添加した銅層(CuAl_x層)により膜91を形成することもできる。

【0122】

あるいは、膜91は、選択タングステンCVD法などを用いて形成することもできる。例えば、図5の構造が得られた後、六フッ化タングステン(WF₆)および水素(H₂)ガスを用いたCVD法により、絶縁膜16から露出した配線20の上面上にタングステン膜を選択的に堆積することにより、タングステンからなる膜91を形成することができる。

【0123】

あるいは、膜91は、選択めっき法などを用いて形成することもできる。例えば、図5の構造が得られた後、絶縁膜16から露出した配線20の上面上にCo膜またはWB膜などのめっき層を選択的に形成することにより、めっき層(例えばCoまたはWB膜)からなる膜91を形成することができる。

【0124】

膜91の形成後、上記実施の形態1における図6~図13に対応する工程と同様の工程を行って、図44の構造が得られる。それから、図45に示されるように、配線34の主導体膜33の表面近傍(例えば20nm以下程度)に、膜91と同様の材料からなる膜92を同様の手法を用いて形成する。膜92の形成後、上記実施の形態1における図15および図16に対応する工程と同様の工程を行って、図46の構造を得ることができるが、本実施の形態では、配線45についても、配線45の主導体膜44の表面近傍に膜91と同様の材料からなる膜93

を同様の手法を用いて形成する。

【0125】

本実施の形態では、配線 20 の表面に膜 91 を形成し、膜 91 上にバリア絶縁膜として絶縁膜 21 を形成している。膜 91 が存在しない場合の銅膜（主導体膜 19）とバリア絶縁膜（絶縁膜 21）との界面の結合状態に起因する銅（Cu）の拡散係数より低い拡散係数を有する銅化合物（または銅以外の金属）により膜 91 を形成し、そのような膜 91 を銅膜（主導体膜 19）とバリア絶縁膜（絶縁膜 21）との間に介在させる。配線 34, 45 についても同様である。これにより、配線とバリア絶縁膜との間の界面における銅の拡散をより抑制することができ、配線のストレスマイグレーション特性などをより向上することが可能となる。

【0126】

また、上記実施の形態 1～4 と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0127】

（実施の形態 6）

図 47 は、本発明の他の実施の形態である半導体装置の要部断面図である。図 47 は、上記実施の形態 1 の図 16 に対応する。なお、図 47 においても、図 1 の絶縁膜 11 より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0128】

図 47 に示される半導体装置は、図 16 の半導体装置と同様の構造を有している。本実施の形態では、埋込銅配線（例えば配線 20）のバリア絶縁膜を第 1 バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 21）と第 2 バリア絶縁膜（例えば絶縁膜 22）の積層膜により形成し、その積層膜の応力 S_1 を -180 MPa 以上（ $S_1 \geq -180 \text{ MPa}$ ）とする。なお、本実施の形態において、ある膜の応力（応力値）について言及するときは、シリコン基板からなる半導体基板 1 上に直接その膜を形成したときに生じる応力（膜応力）のことをいう。従って、第 1 バリア絶縁膜と第 2 バリア絶縁膜の積層膜の応力が -180 MPa 以上というときは、半導体基板 1 上に直接第 1 バリア絶縁膜と第 2 バリア絶縁膜とを形成したときに、その積層膜

に生じる応力に対応する。また、積層膜の応力 S_1 が -180 MPa 以上というときは、 $-180\text{ MPa} \leq S_1 \leq 0$ および $0 \leq S_1$ を合わせたものに対応する。

【0129】

図48は、絶縁膜21を炭窒化シリコン (SiCN) 膜により形成し、絶縁膜22を炭化シリコン (SiC) 膜により形成し、絶縁膜21と絶縁膜22との積層膜の全体の膜厚を 50 nm (固定) とし、絶縁膜21と絶縁膜22との膜厚の比率を変化させたときの絶縁膜21と絶縁膜22との積層膜の応力 (応力値) S_1 を示すグラフである。図48のグラフの横軸は、炭窒化シリコン膜 (絶縁膜21) と炭化シリコン膜 (絶縁膜22) との積層膜の全体の膜厚を 50 nm (固定) としたときの炭窒化シリコン膜 (絶縁膜21) の膜厚に対応し、図48のグラフの縦軸は、その積層膜の応力 (応力値) S_1 に対応する。

【0130】

図48からも分かるように、炭窒化シリコン (SiCN) 膜の単独膜 (図48の横軸の炭窒化シリコン (SiCN) 膜の膜厚が 50 nm の場合に対応) は、その応力は負であり、圧縮応力が発生する。また、炭化シリコン (SiC) 膜の単独膜 (図48の横軸の炭窒化シリコン (SiCN) 膜の膜厚が 0 nm の場合に対応) は、その応力は正であり、引張応力が発生する。炭窒化シリコン (SiCN) 膜の単独膜ではかなり大きな負の応力が発生するが、図48に示されるように、炭窒化シリコン (SiCN) 膜の膜厚を減らして炭化シリコン (SiC) 膜の膜厚の割合を増やすことで、積層膜全体の応力が正の方向に移行する。

【0131】

本発明者の実験によれば、絶縁膜21の膜厚が 40 nm 以下となり、絶縁膜21および絶縁膜22の積層膜の応力が -180 MPa 以上となると、良好なストレスマイグレーション特性を得られることが分かった。例えば、応力が -180 MPa 以上となる積層膜を下層銅配線と層間絶縁膜 (低誘電率材料膜) との間のバリア絶縁膜として用いれば、 150°C で 100 時間の放置試験で埋込銅配線の電気抵抗の変化率 (上昇率) を 2% 以内に抑えることができた。一方、応力が -180 MPa より小さな ($S_1 < -180\text{ MPa}$) 積層膜を下層銅配線と層間絶縁膜 (低誘電率材料膜) との間のバリア絶縁膜として用いた場合、 150°C で 1

00時間の放置試験で埋込銅配線の電気抵抗の変化率（上昇率）が2%を超えるものが生じた。下層銅配線と層間絶縁膜（低誘電率材料膜）との間のバリア絶縁膜に積層膜を用いた場合、その積層膜の応力が -180MPa 以上であれば、高温放置によって引き起こされる応力の緩和が生じにくくなり、ストレスマイグレーションに起因した不具合の発生を防止することが可能となる。

【0132】

本実施の形態では、（絶縁膜22よりも）銅に対するバリア性に優れた絶縁膜21は、配線20のバリア絶縁膜（銅の拡散防止膜）として機能し、絶縁膜22は、応力を制御する膜として機能することができる。例えば、絶縁膜22は、絶縁膜21の発生させる応力を緩和させるように機能することができる。銅のバリア性に優れた絶縁膜21の単独膜では、応力が好ましい範囲内（応力が -180MPa 以上）になかったとしても、絶縁膜21上に絶縁膜22を形成して積層膜全体の応力を制御することで、例えば絶縁膜21が発生する負の応力（圧縮応力）を絶縁膜22が生じ得る正の応力（引張応力）により緩和することで、積層膜（バリア絶縁膜）全体の応力を -180MPa 以上に制御でき、積層膜（バリア絶縁膜）と層間絶縁膜（低誘電率材料膜）との間の密着性（接着性）を向上することができる。これにより、ストレスマイグレーションに起因する不良（例えば高温放置による下層埋込銅配線の上面と上層埋込銅配線のビア部との間のボイドの発生や、埋込銅配線の電気抵抗の上昇など）を抑制し、配線の信頼性を向上することができる。このため、半導体装置の信頼性を向上できる。また、半導体装置の製造歩留まりを向上し、製造コストを低減できる。

【0133】

また、上記実施の形態1～5と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0134】

（実施の形態7）

図49～図51は、実施の形態1とは別の製造工程を用いた場合の半導体装置の製造工程中の要部断面図である。図6までの製造工程は上記実施の形態1と同様であるので、ここではその説明は省略し、図6に続く製造工程について説明す

る。なお、図49～図51においても、図1の絶縁膜11より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0135】

図49に示されるように、絶縁膜22上に、絶縁膜（層間絶縁膜）23、絶縁膜（エッチングストッパ膜）24、絶縁膜（層間絶縁膜）25および絶縁膜（CMP保護膜）26を順に形成する。これらの絶縁膜23～26は実施の形態1で示したものと同様の材料を用いて形成することができる。

【0136】

次に、絶縁膜26上にフォトリジスト膜を形成し、そのフォトリジスト膜を露光、現像してパターン化することにより、フォトリジストパターン101を形成する。それから、フォトリジストパターン101をエッチングマスクとして用いて絶縁膜26および絶縁膜25をドライエッチングする。これにより、絶縁膜25および絶縁膜26に開口部31が形成される。開口部31は、ビアの形成予定領域に形成される。従って、開口部31の平面領域は、以降に示す開口部29の平面領域に含まれる。また、このドライエッチングの際には、絶縁膜24はエッチングストッパ膜として機能する。

【0137】

次にフォトリジストパターン101を除去した後、図50に示されるように、絶縁膜26上にフォトリジスト膜を形成し、そのフォトリジスト膜を露光、現像してパターン化することにより、フォトリジストパターン102を形成する。それから、フォトリジストパターン102をエッチングマスクとして用いて、まず絶縁膜24および絶縁膜26をドライエッチングする。その後、絶縁膜25および開口部31内の絶縁膜23をドライエッチングすることにより絶縁膜23に開口部31を、また、絶縁膜25に開口部29を形成することができる。このドライエッチングの際には、開口部29においては絶縁膜24エッチングストッパ膜として機能し、開口部31においては絶縁膜22、21がエッチングストッパ膜として機能している。

【0138】

次に、図51に示されるように、開口部29の底部で絶縁膜24をドライエッ

チングにより除去し、開口部 31 の底部で絶縁膜 22 および絶縁膜 21 をドライエッチングにより除去する。その後にフォトレジストパターン 102 を除去する。これにより、開口部 31 の底部で配線 20 の上面が露出される。なお、残存する絶縁膜 26 は、後で行う CMP 工程の保護膜などとして機能することができる。

【0139】

次に、開口部 31 の底部で露出する配線 20（下層銅配線）の表面に形成された酸化銅を除去して配線 20 の露出した上面を清浄化（クリーニング）する処理を行う。これは、例えば水素（ H_2 ）プラズマ処理のような還元性プラズマ処理により、銅配線表面の酸化銅（ CuO 、 Cu_2O 、 CuO_2 ）を銅（ Cu ）に還元することにより行うことができる。

【0140】

以降の製造工程は実施の形態 1 の図 13 以降の工程と同様にして、開口部 29 および開口部 31 内に、導電性バリア膜 18 と同様の材料からなる導電性バリア膜 32 および主導体膜 19 と同様の材料からなる主導体膜 33 を埋め込んで配線 34 を形成することができる。

【0141】

このように、本実施の形態に示したような製造工程を用いて形成した場合でも、実施の形態 1 と同様に、銅配線とバリア絶縁膜との間の銅のバリア性（銅の拡散防止）の向上と、バリア絶縁膜と層間絶縁膜（低誘電率材料膜）との密着性向上との両立が可能となり、配線の TDDB 寿命の向上とストレスマイグレーション特性の向上とを実現できる。これにより、配線の信頼性を向上することができる。また、半導体装置の製造歩留まりを低減し、製造コストも低減できる。

【0142】

また、上記実施の形態 2、5 または 6 と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0143】

（実施の形態 8）

図 52～図 55 は、実施の形態 7 で使用したマスク（フォトレジストパターン

）を用いて別の製造工程を用いた場合の半導体装置の製造工程中の要部断面図である。実施の形態 7 と同様に、図 6 までの製造工程は上記実施の形態 1 と同様であるので、ここではその説明は省略し、図 6 に続く製造工程について説明する。なお、図 5 2 ～図 5 5 においても、図 1 の絶縁膜 1 1 より下の構造に対応する部分は図示を省略している。

【0144】

図 5 2 に示されるように、絶縁膜 2 2 上に、絶縁膜（層間絶縁膜）2 3 および絶縁膜（CMP 保護膜）2 6 を順に形成する。これらの絶縁膜 2 3 および 2 6 は実施の形態 1 で示したものと同様の材料を用いて形成することができる。また、本実施の形態における絶縁膜 2 3 の厚みは、上記実施の形態 1 における絶縁膜 2 3 の厚みよりも相対的に厚く、例えば上記実施の形態 1 における絶縁膜 2 3, 2 5（または絶縁膜 2 3 ～2 5）の合計の厚みにほぼ対応する。本実施の形態においては、絶縁膜 2 4 の形成を省略している。これは、後に示すように配線間の容量低減を図るものである。すなわち、絶縁膜 2 3 は実施の形態 1 で示したような低誘電率材料膜であるが、絶縁膜 2 4 は酸化シリコン膜などから形成されるため、絶縁膜 2 3 よりも高い誘電率を有してしまう。従ってこの絶縁膜 2 4 の形成を省略することで配線間の容量低減を図ることができる。

【0145】

次に、絶縁膜 2 6 上にフォトリジスト膜を形成し、そのフォトリジスト膜を露光、現像してパターン化することにより、フォトリジストパターン 1 0 1 を形成する。それから、フォトリジストパターン 1 0 1 をエッチングマスクとして用いて絶縁膜 2 6 および絶縁膜 2 3 をドライエッチングする。これにより、絶縁膜 2 3 および絶縁膜 2 6 に、絶縁膜 2 2 まで貫通する（到達する）開口部 3 1 が形成される。このときエッチングガスの選択比が絶縁膜 2 2 と絶縁膜 2 3 とで異なるようなエッチングガスを使用することで、絶縁膜 2 2 がエッチングストップパとして機能し、配線 2 0 へのオーバーエッチングを防ぐことができる。

【0146】

次にフォトリジストパターン 1 0 1 を除去した後、図 5 3 に示されるように、絶縁膜 2 6 上にフォトリジスト膜を形成し、そのフォトリジスト膜を露光、現像

してパターン化することにより、フォトレジストパターン102を形成する。それから、フォトレジストパターン102をエッチングマスクとして用いて、絶縁膜26および絶縁膜23をドライエッチングする。このときのエッチング時間を上述の開口部31の形成時よりも短く制御することで開口部29を形成することができる。また、このときも絶縁膜22がエッチングストッパとして機能している。

【0147】

次に、図54に示されるように、開口部31の底部で絶縁膜22および絶縁膜21をエッチング除去する。その後にフォトレジストパターン102を除去する。これにより、開口部31の底部で配線20の上面が露出される。なお、残存する絶縁膜26は、後で行うCMP工程の保護膜などとして機能することができる。

【0148】

次に、開口部31の底部で露出する配線20（下層銅配線）の表面に形成された酸化銅を除去して配線20の露出した上面を清浄化（クリーニング）する処理を行う。これは、例えば水素（ H_2 ）プラズマ処理のような還元性プラズマ処理により、銅配線表面の酸化銅（ CuO 、 Cu_2O 、 CuO_2 ）を銅（ Cu ）に還元することにより行うことができる。

【0149】

以降の製造工程は実施の形態1の図13以降の工程と同様にして、開口部29および開口部31内に、導電性バリア膜18と同様の材料からなる導電性バリア膜32および主導体膜19と同様の材料からなる主導体膜33を埋め込むことで、図55に示すような配線34を形成することができる。

【0150】

このように、本実施の形態においては絶縁膜23よりも誘電率の高い絶縁膜24が形成されておらず、開口部29の形成をエッチングガスの時間制御により行なっているため、配線間の容量を低減することができる。また絶縁膜24の形成を省略することができるので、製造工程の簡略化を図ることができる。

【0151】

また、本実施の形態に示したような製造工程を用いて形成した場合でも、実施の形態 1 と同様に、銅配線とバリア絶縁膜との間の銅のバリア性（銅の拡散防止）の向上と、バリア絶縁膜と層間絶縁膜（低誘電率材料膜）との密着性向上との両立が可能となり、配線の T D D B 寿命の向上とストレスマイグレーション特性の向上とを実現できる。これにより、配線の信頼性を向上することができる。また、半導体装置の製造歩留まりを低減し、製造コストも低減できる。

【0152】

また、本実施の形態の開口部 29 および 31 の形成に際し、実施の形態 3 で示したような絶縁膜 27 および 61 をマスクとして用いて形成することもできる。その場合、低誘電率材料からなる絶縁膜 23 が露出した状態でフォトリソパターンを除去（アッシング）することがないため、フォトリソパターンのアッシングなどにより低誘電率材料膜（絶縁膜 23）が変質（またはダメージを受ける）するのを防止することができる。

【0153】

更に、上記実施の形態 2、5 または 6 と本実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0154】

以上、本発明者によってなされた発明をその実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

【0155】

前記実施の形態では、M I S F E T を有する半導体装置について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、銅を主成分とする主導体膜を含む配線を有する種々の半導体装置に適用することができる。

【0156】

本願において開示される発明の実施形態のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

【0157】

埋込銅配線のバリア絶縁膜として、銅配線を埋め込んだ絶縁膜上に形成され、

銅に対するバリア性に優れた第1バリア絶縁膜と、第1バリア絶縁膜上に形成され、低誘電率材料膜との密着性に優れた第2バリア絶縁膜との積層膜を用いることにより、銅配線の信頼性を向上することができる。更に、そのような第1、第2バリア絶縁膜を銅配線表面上に形成することで、TDDB寿命を向上することができる。

【0158】

また、銅配線とバリア絶縁膜との界面近傍におけるバリア絶縁膜の窒素濃度を、バリア絶縁膜の上層の低誘電率材料膜とバリア絶縁膜との界面近傍におけるバリア絶縁膜の窒素濃度よりも高くしたことにより、銅配線の信頼性を向上することができる。更に、そのようなバリア絶縁膜を銅配線表面上に形成することで、TDDB寿命を向上することができる。

【0159】

また、銅(Cu)の拡散係数より低い拡散係数を有する銅化合物（または銅以外の金属）により膜を形成し、そのような膜を銅膜とバリア絶縁膜との間に介在させる。これにより、配線とバリア絶縁膜との間の界面における銅の拡散をより抑制することができ、配線のストレスマイグレーション特性などをより向上することが可能となる。

【0160】

また、配線表面に形成する積層膜（バリア絶縁膜）全体の応力を -180MPa 以上に制御することで、ストレスマイグレーションに起因する不良を抑制することができる。

【0161】

【発明の効果】

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

【0162】

銅を主成分とする主導体膜を含む配線の信頼性を向上させることができる。

【0163】

また、半導体装置の信頼性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 2】

図 1 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 3】

図 2 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 4】

図 3 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 5】

図 4 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 6】

図 5 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 7】

図 6 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 8】

図 7 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 9】

図 8 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 0】

図 9 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 1】

図 1 0 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 2】

図 1 1 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 3】

図 1 2 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 1 4】

他の形態の半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 15】

図 13 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 16】

図 15 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 17】

埋込銅配線の T D D B 寿命試験の結果を示すグラフである。

【図 18】

埋込銅配線の高温放置試験後の抵抗上昇率を示すグラフである。

【図 19】

埋込銅配線の高温放置試験後の抵抗上昇率を示すグラフである。

【図 20】

埋込銅配線の高温放置試験後の抵抗上昇率を示すグラフである。

【図 21】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 22】

図 21 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 23】

絶縁膜の厚み方向における窒素 (N) 濃度分布を示すグラフである。

【図 24】

図 22 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 25】

図 24 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 26】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 27】

図 26 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 28】

図 27 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 29】

図 28 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 30】

図 29 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 31】

図 30 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 32】

図 31 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 33】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 34】

図 33 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 35】

図 34 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 36】

図 35 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 37】

図 36 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 38】

図 37 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 39】

図 38 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 40】

図 39 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 41】

図 40 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 42】

図 41 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 43】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 4】

図 4 3 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 4 5】

図 4 4 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 4 6】

図 4 5 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 4 7】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の要部断面図である。

【図 4 8】

積層膜の応力を示すグラフである。

【図 4 9】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 5 0】

図 4 9 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 5 1】

図 5 0 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 5 2】

本発明の他の実施の形態である半導体装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 5 3】

図 5 2 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 5 4】

図 5 3 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【図 5 5】

図 5 4 に続く半導体装置の製造工程中における要部断面図である。

【符号の説明】

- 1 半導体基板
- 2 素子分離領域
- 3 p 型ウェル
- 4 ゲート絶縁膜

- 5 ゲート電極
 - 5 a シリサイド膜
- 6 n-型半導体領域
- 7 サイドウォール
- 8 n+型半導体領域
 - 8 a シリサイド膜
- 9 nチャネル型M I S F E T
- 1 0 絶縁膜
- 1 1 絶縁膜
- 1 2 コンタクトホール
- 1 3 プラグ
 - 1 3 a 窒化チタン膜
- 1 4 絶縁膜
- 1 5 絶縁膜
- 1 6 絶縁膜
- 1 7 開口部
- 1 8 導電性バリア膜
- 1 9 主導体膜
- 2 0 配線
- 2 1 絶縁膜
- 2 2 絶縁膜
- 2 3 絶縁膜
- 2 4 絶縁膜
- 2 5 絶縁膜
- 2 6 絶縁膜
- 2 7 絶縁膜
- 2 8 フォトレジストパターン
- 2 9 開口部
 - 2 9 a 開口部

- 3 0 フォトレジストパターン
- 3 1 開口部
 - 3 1 a 開口部
- 3 2 導電性バリア膜
- 3 3 主導体膜
- 3 4 配線
- 3 5 絶縁膜
- 3 6 絶縁膜
- 3 7 絶縁膜
- 3 8 絶縁膜
- 3 9 絶縁膜
- 4 0 絶縁膜
- 4 1 開口部
- 4 2 開口部
- 4 3 導電性バリア膜
- 4 4 主導体膜
- 4 5 配線
- 5 1 絶縁膜
- 5 2 絶縁膜
- 6 1 絶縁膜
- 6 2 フォトレジストパターン
- 7 1 絶縁膜
- 7 2 フォトレジストパターン
- 7 3 導電性バリア膜
- 7 4 主導体膜
- 7 5 プラグ
- 7 6 絶縁膜
- 7 7 フォトレジストパターン
- 7 8 導電性バリア膜

7 9 主 導 体 膜

8 0 配 線

9 1 膜

9 2 膜

9 3 膜

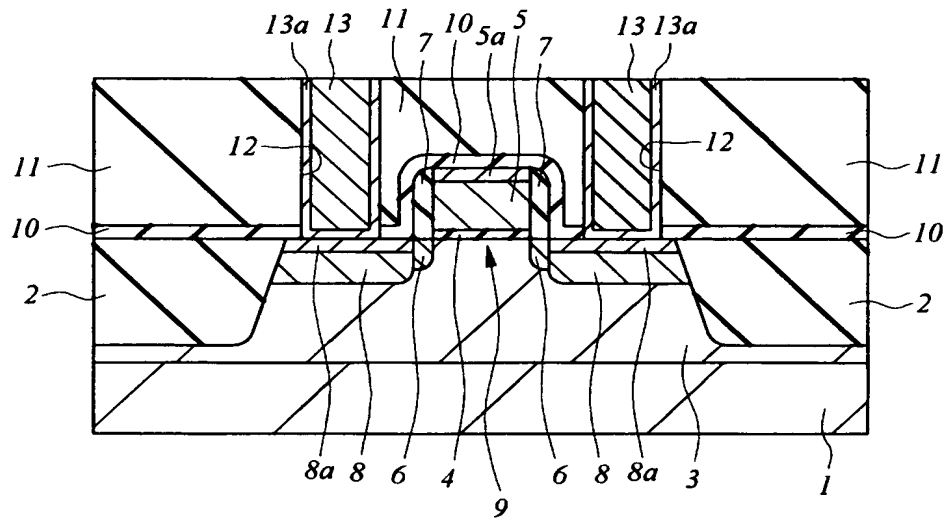
1 0 1 フォトレジストパターン

1 0 2 フォトレジストパターン

【書類名】 図面

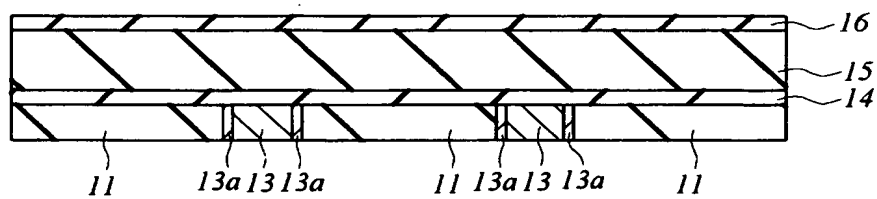
【図 1】

図 1



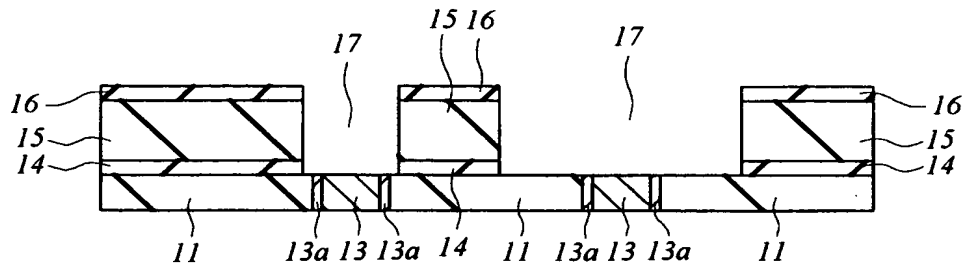
【図 2】

図 2



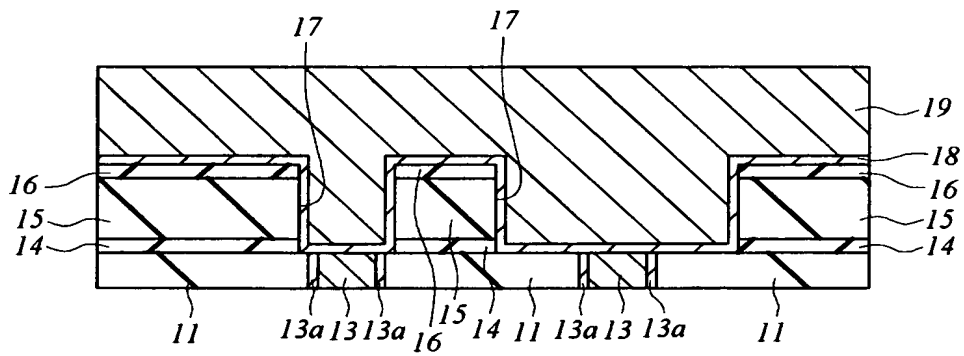
【図 3】

図 3



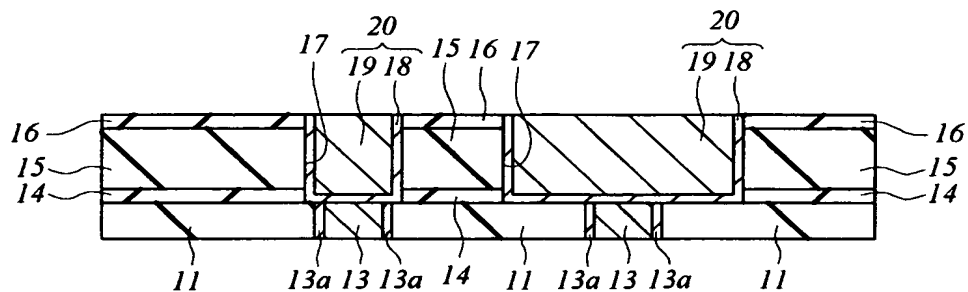
【図 4】

図 4



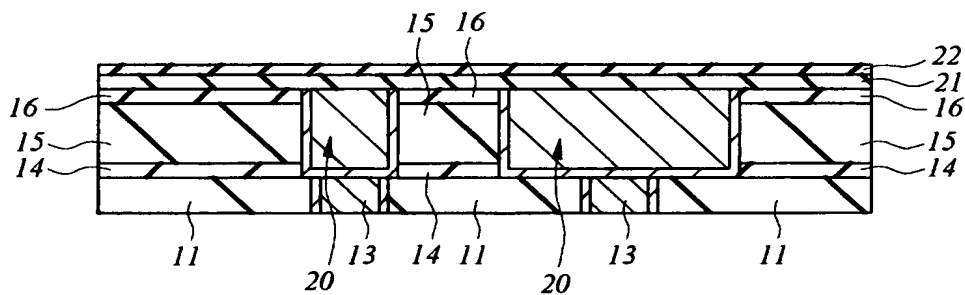
【図 5】

図 5



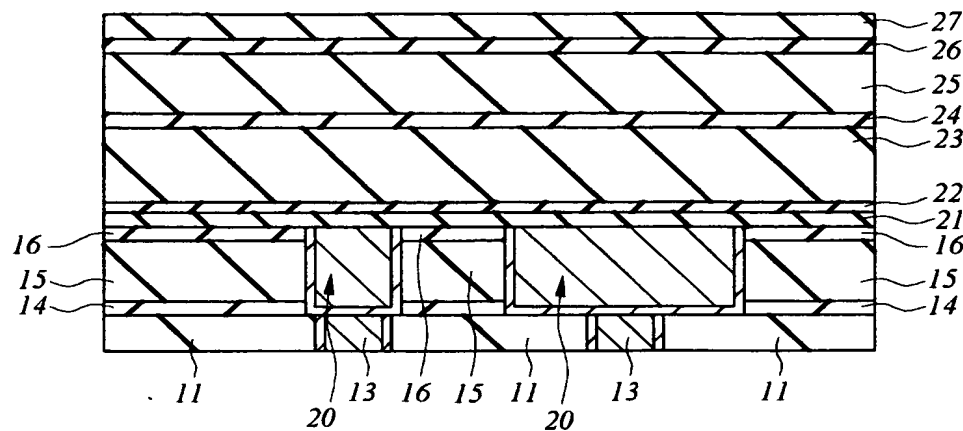
【図 6】

図 6



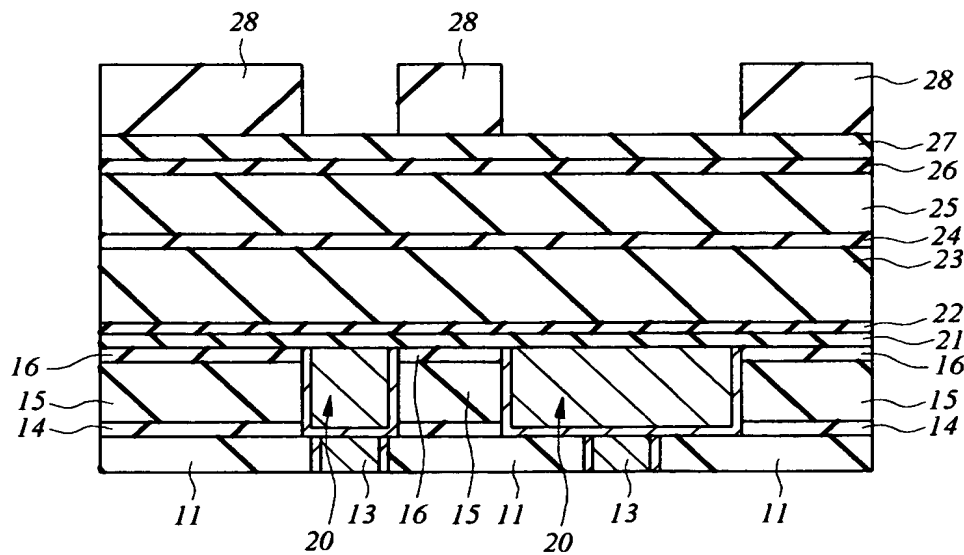
【図 7】

図 7



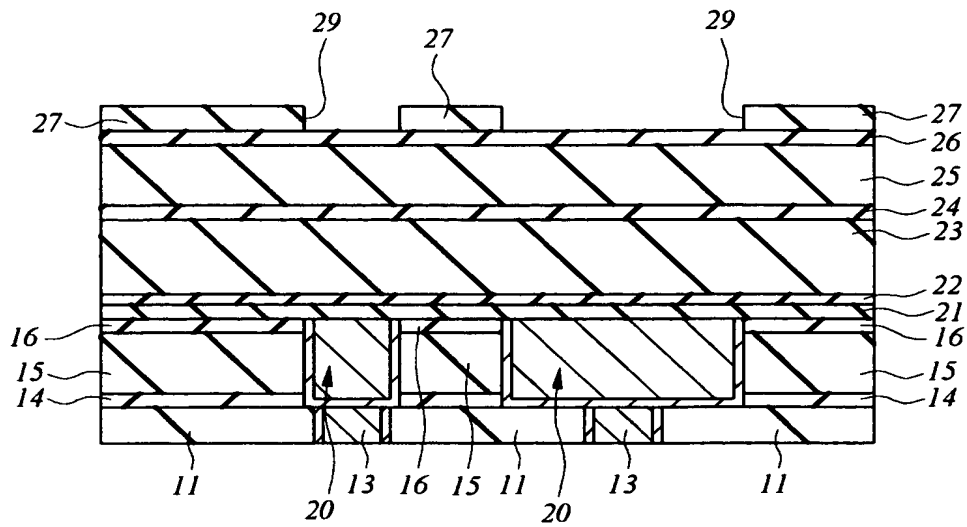
【図 8】

図 8



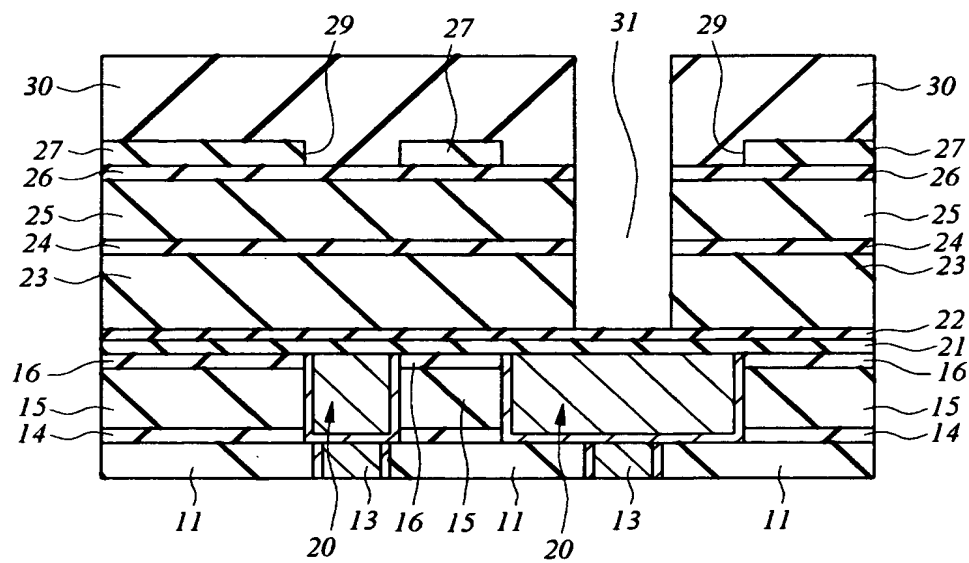
【図 9】

図 9



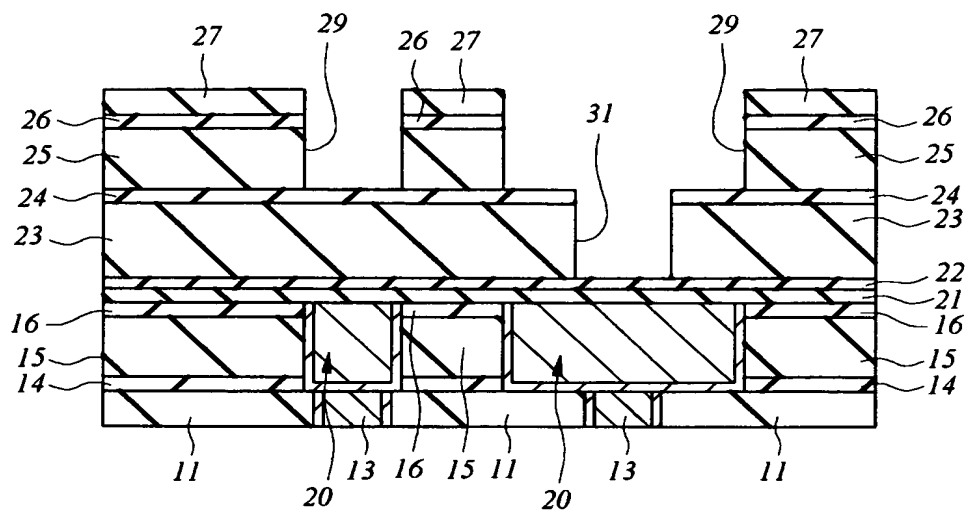
【図 10】

図 10



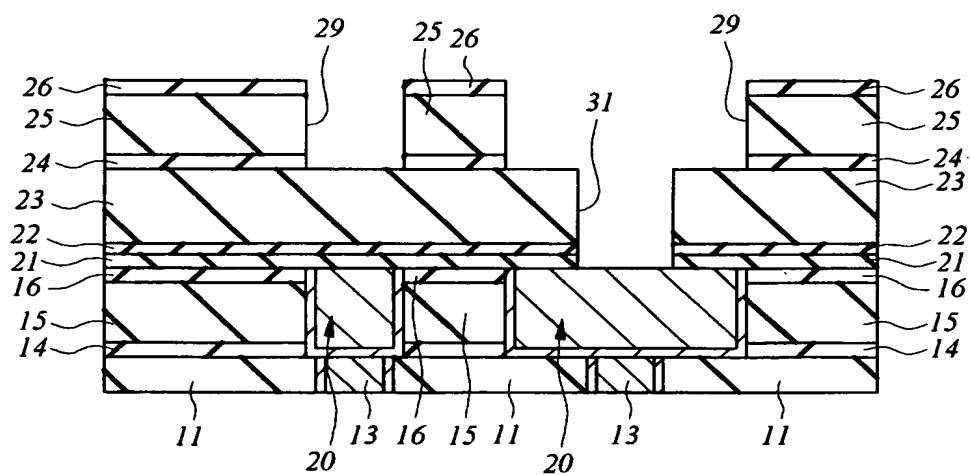
【図 1 1】

図 11



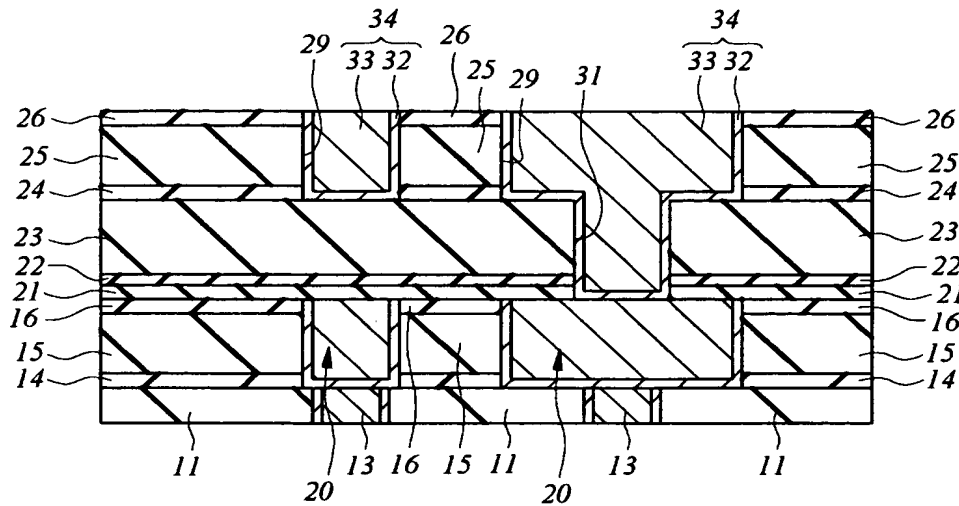
【図 1 2】

图 12



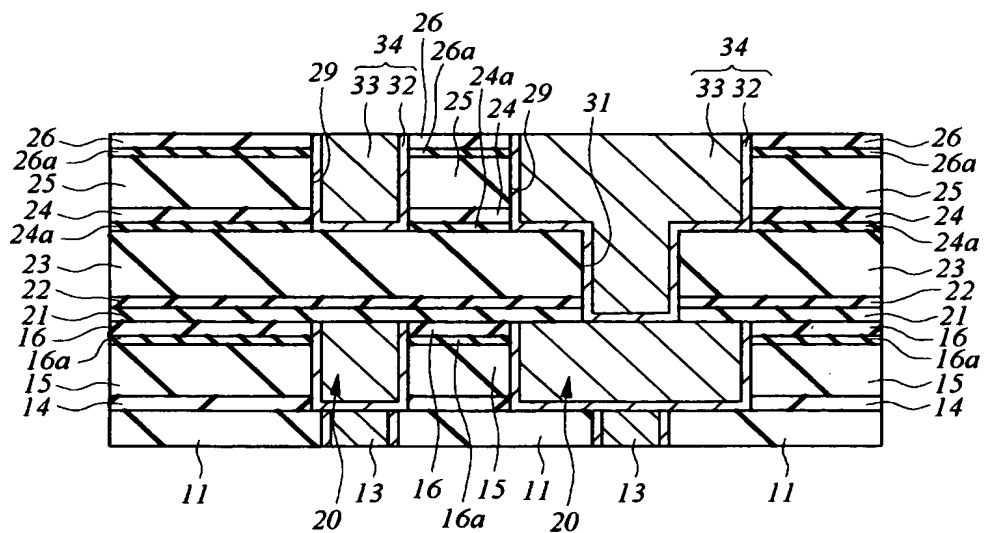
【図 13】

Figure 13 shows a square frame containing a cross symbol. The cross is formed by two intersecting lines, one horizontal and one vertical, centered within the square. The entire figure is labeled with the number 13 to its right.



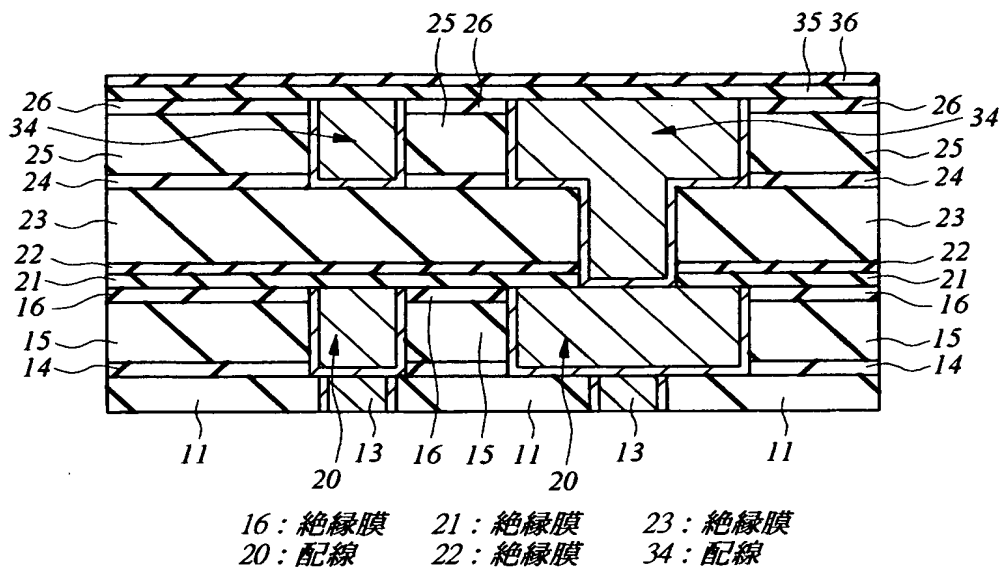
【図 14】

図 14



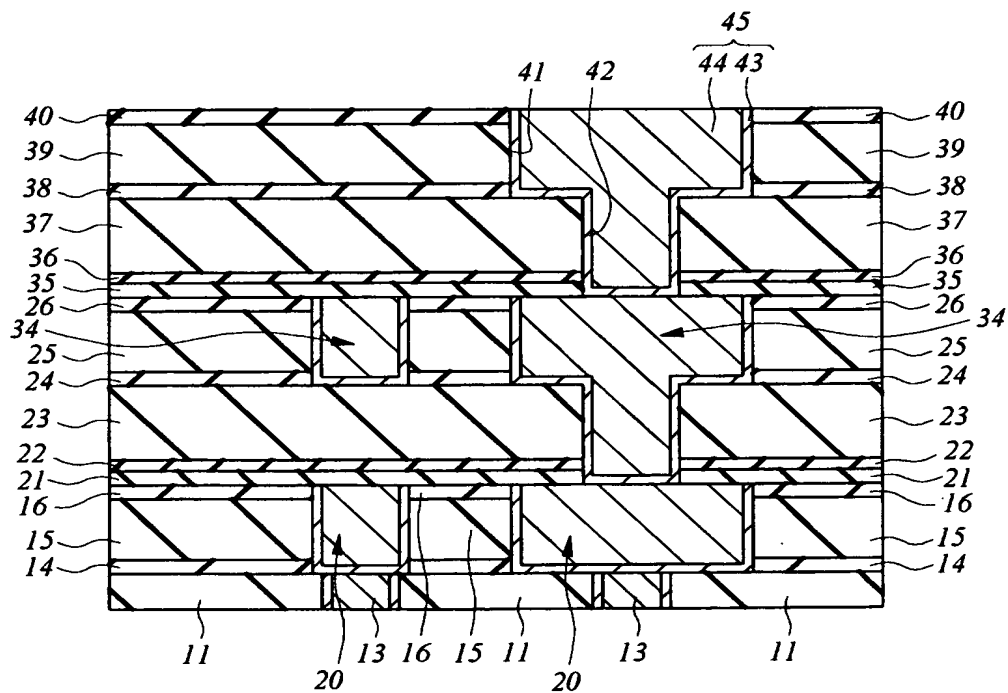
【図 15】

図 15



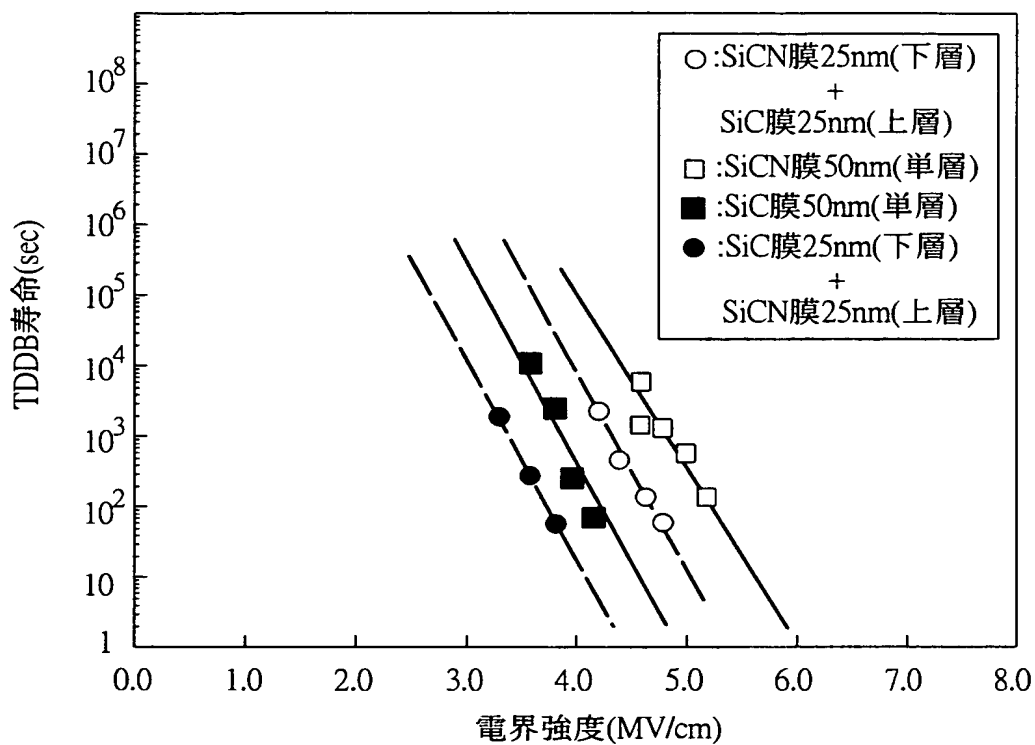
【図 16】

図 16



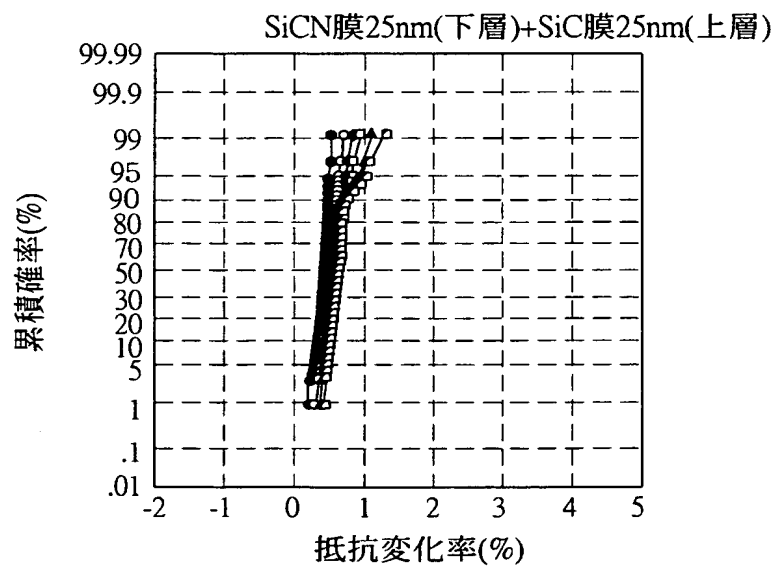
【図 17】

図 17

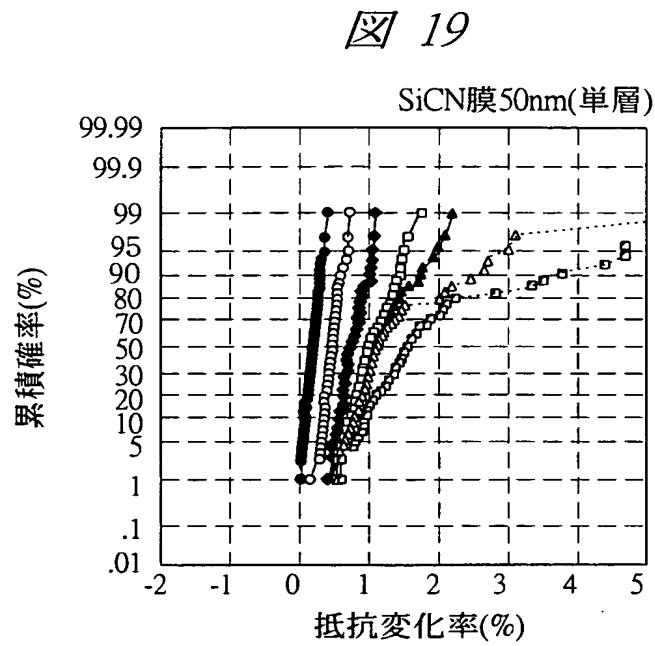


【図 18】

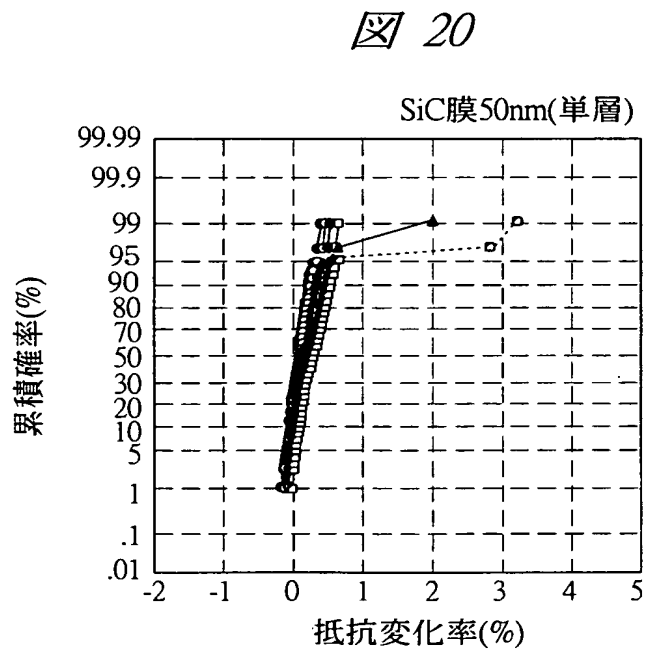
図 18



【図 19】

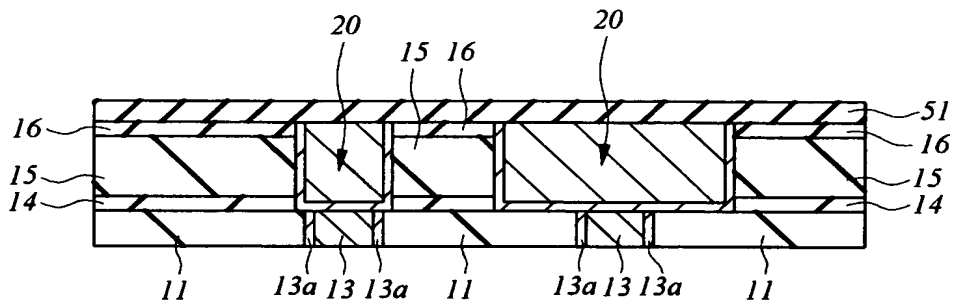


【図 20】



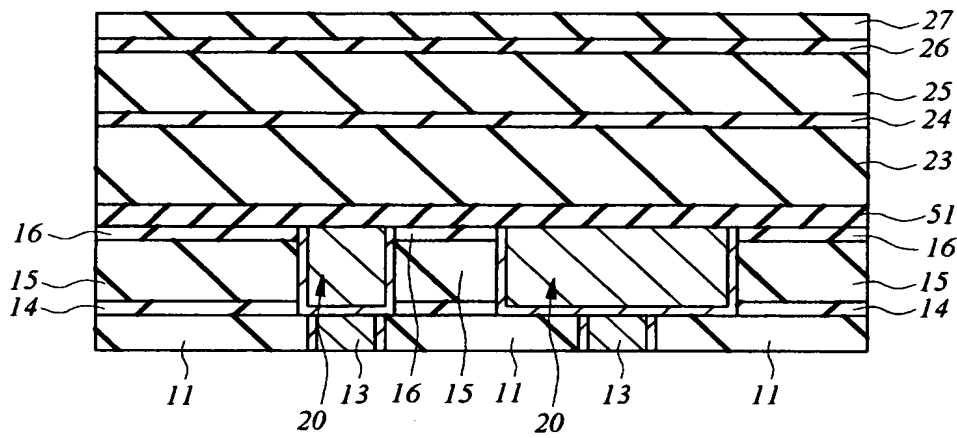
【図 21】

図 21



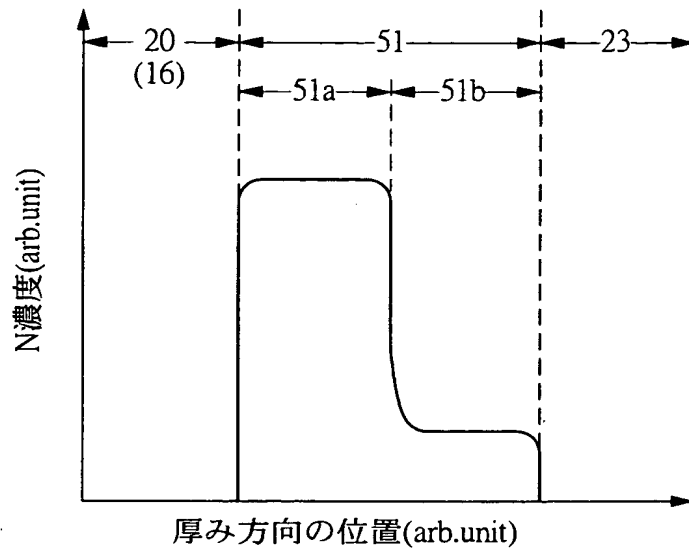
【図 22】

図 22



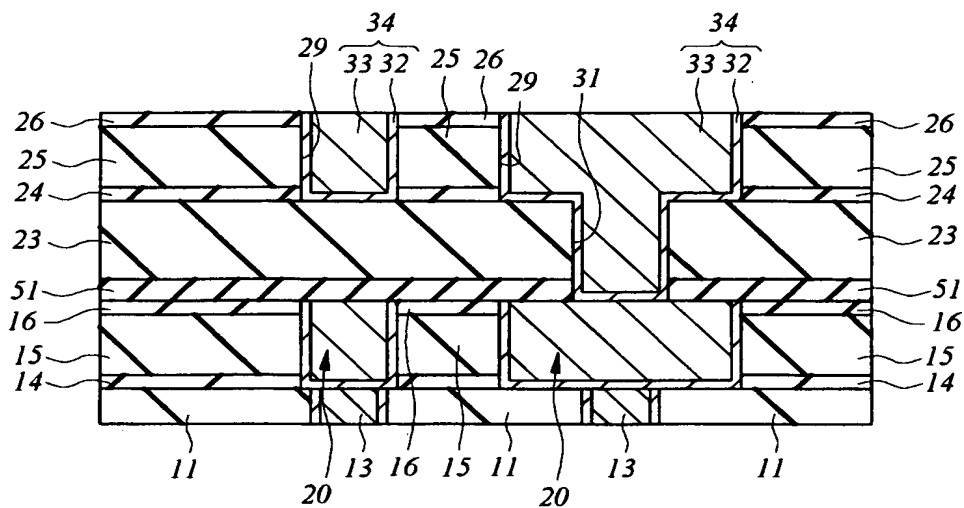
【図 2 3】

図 23



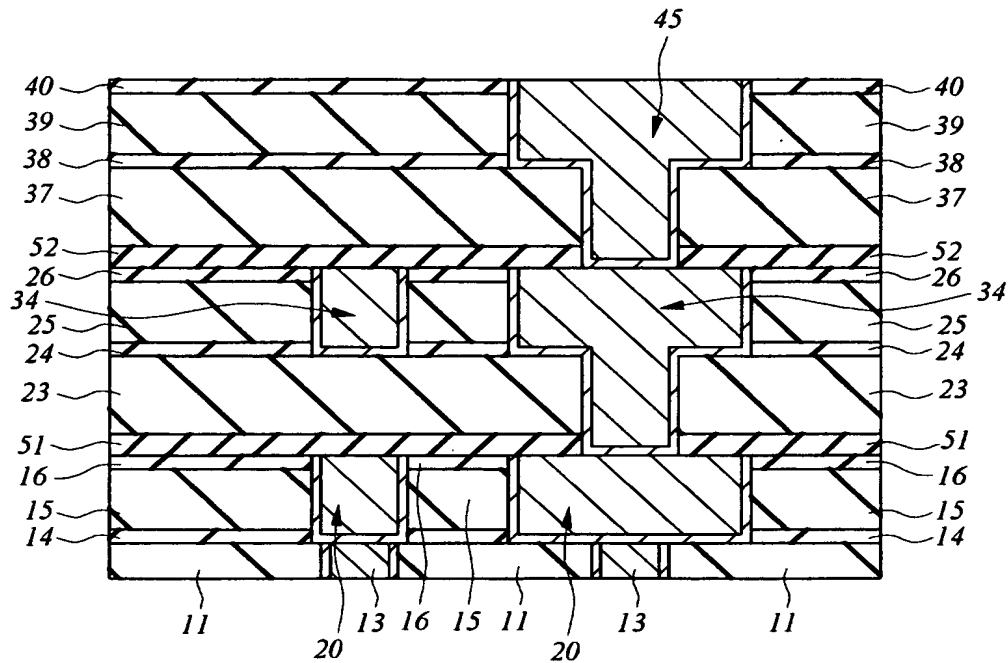
【図 24】

図 24



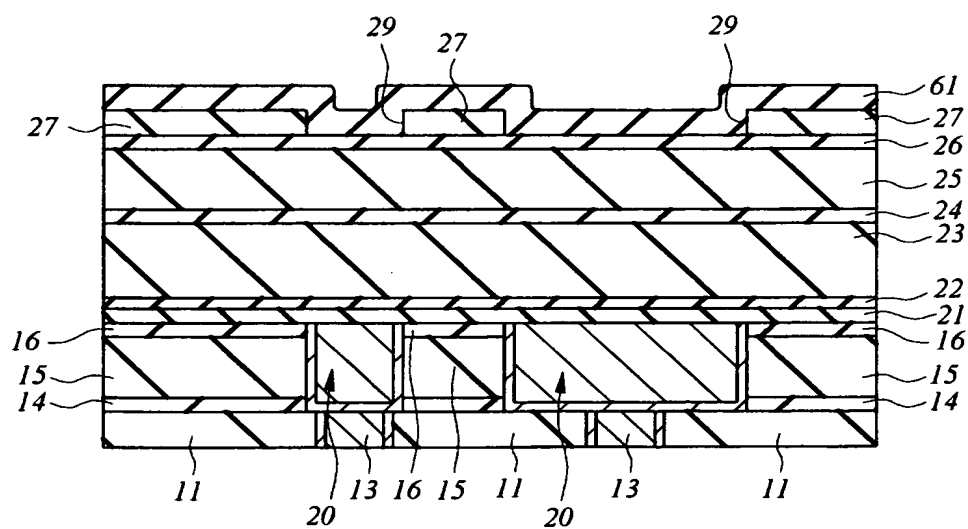
【図 25】

図 25



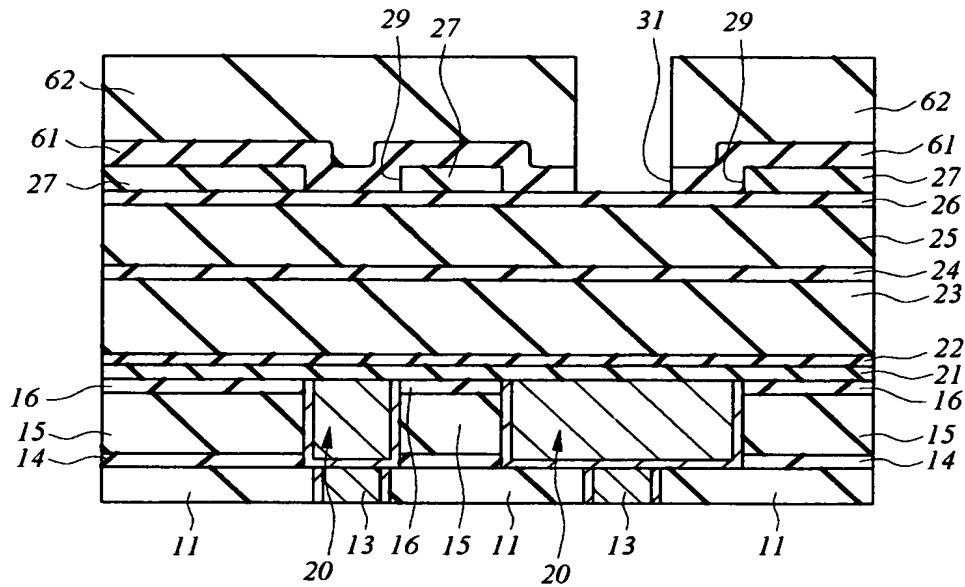
【図 26】

図 26



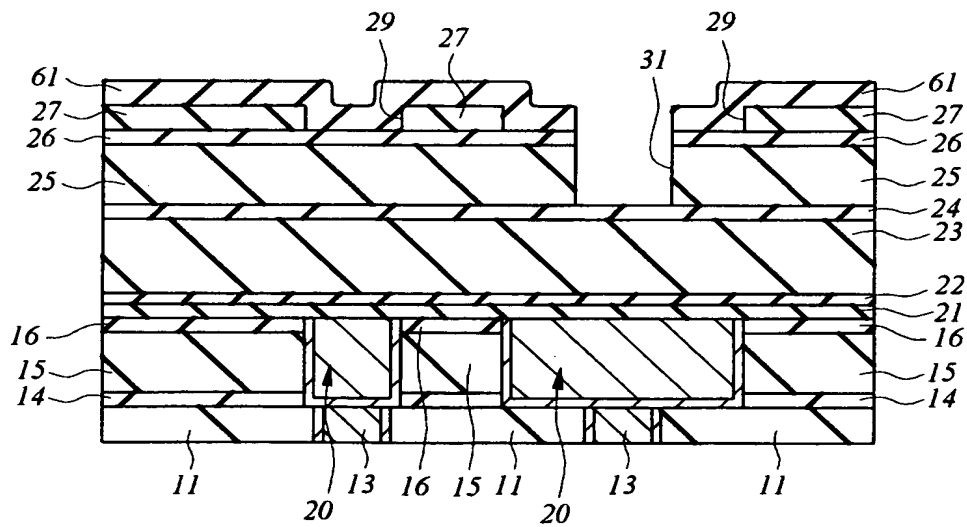
【図 27】

図 27



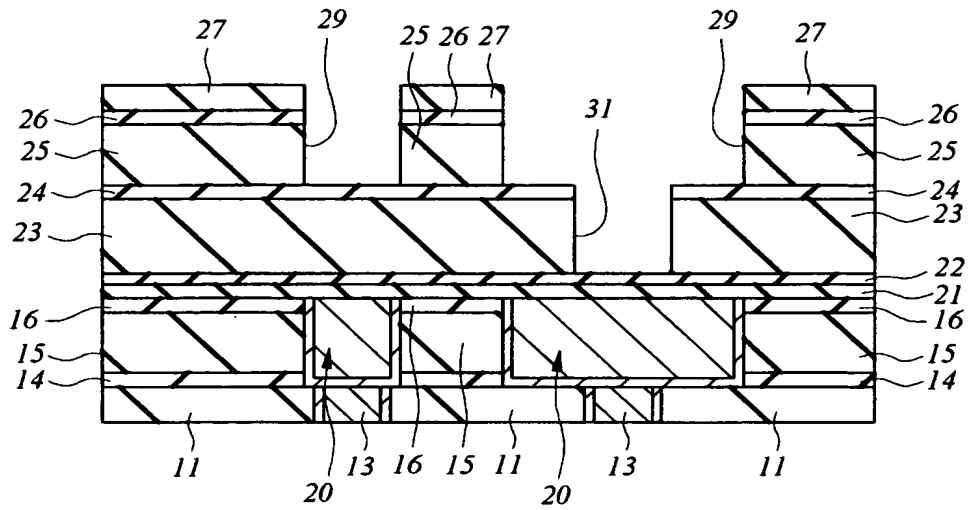
【図 28】

図 28



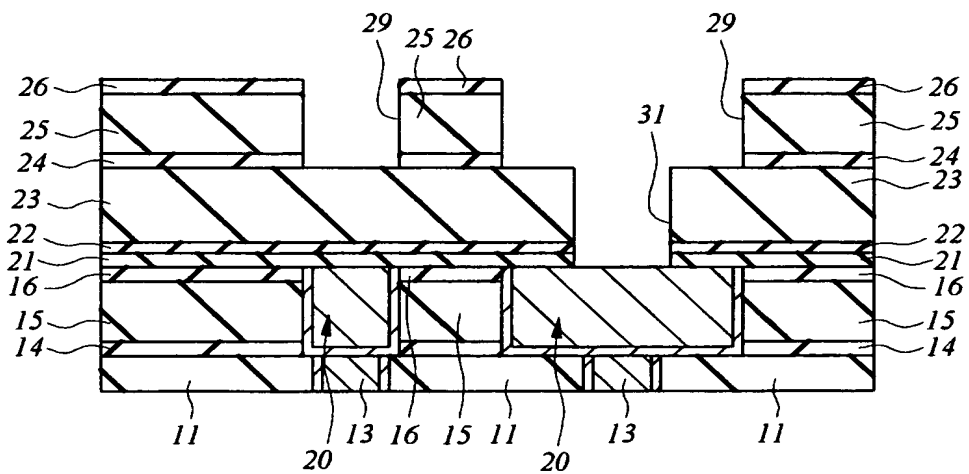
【図 29】

図 29



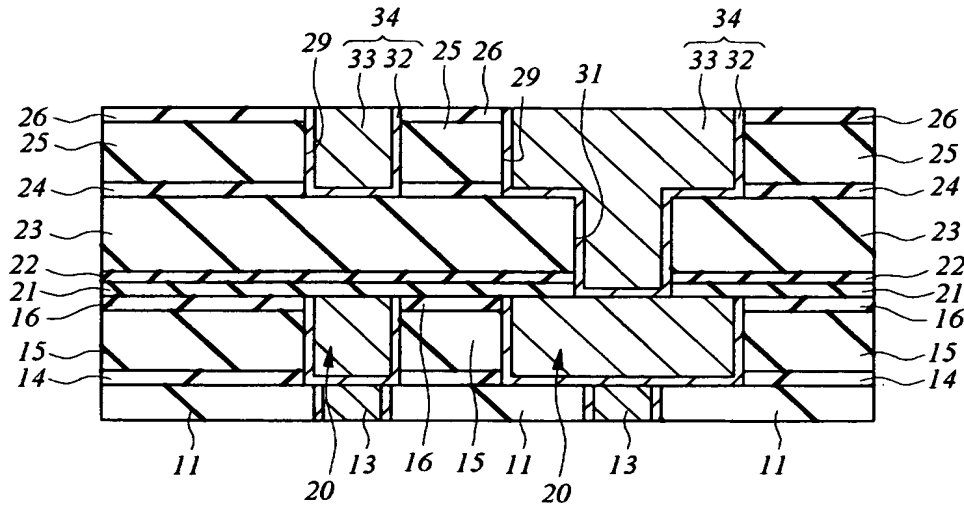
【図 30】

図 30



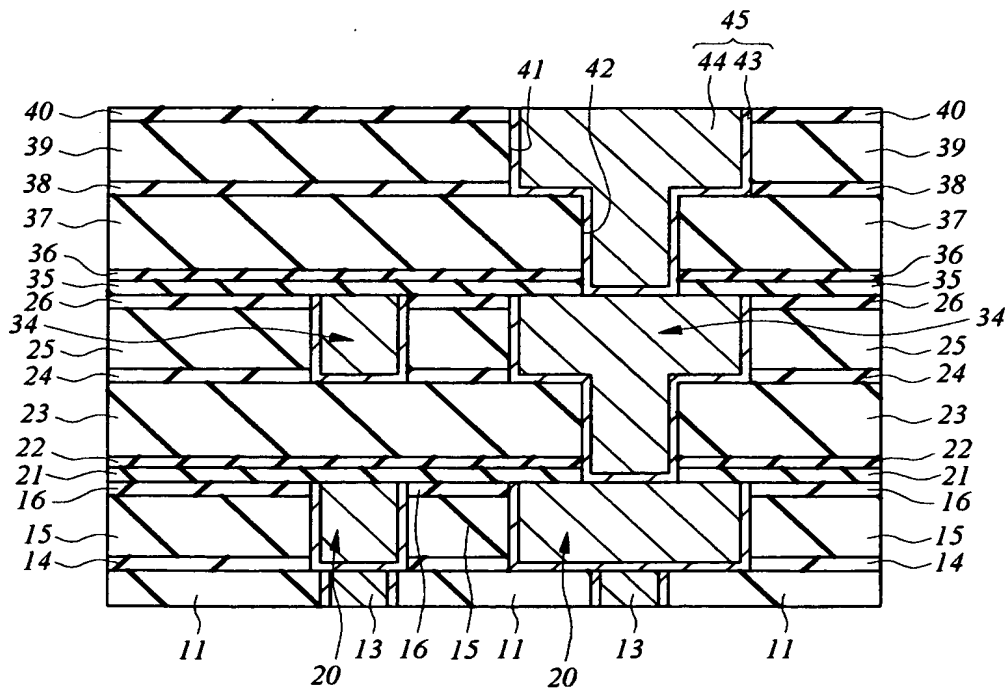
【図 3 1】

図 31



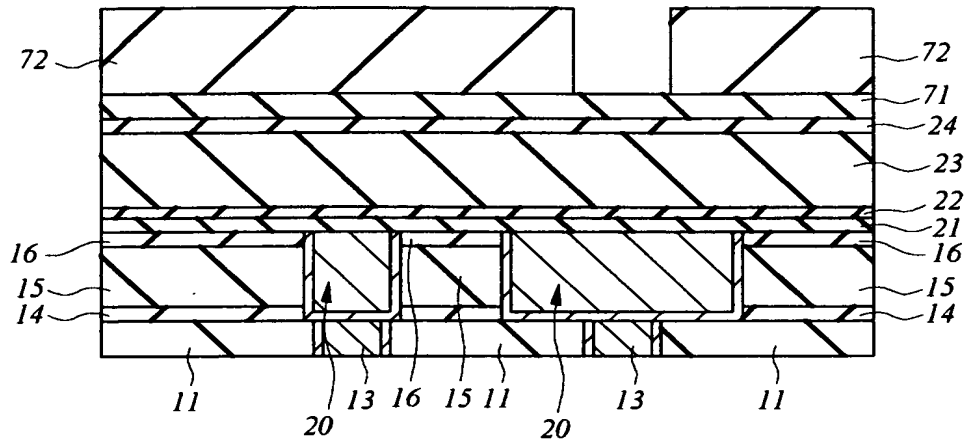
【図 3 2】

図 32



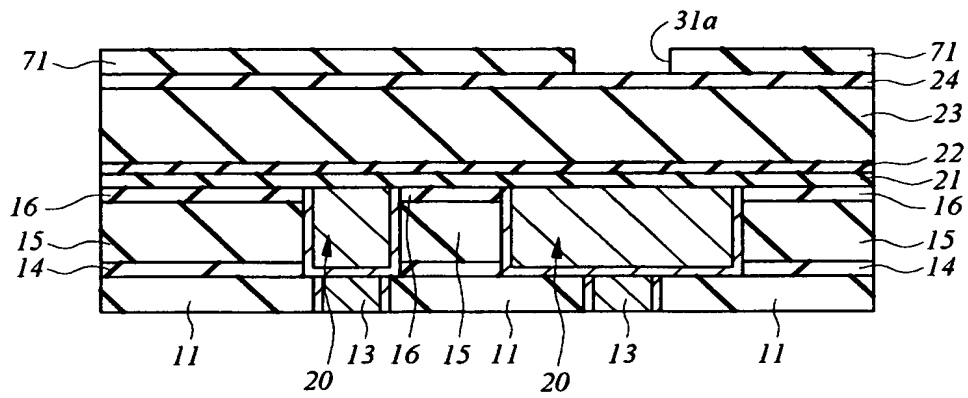
【図 33】

図 33



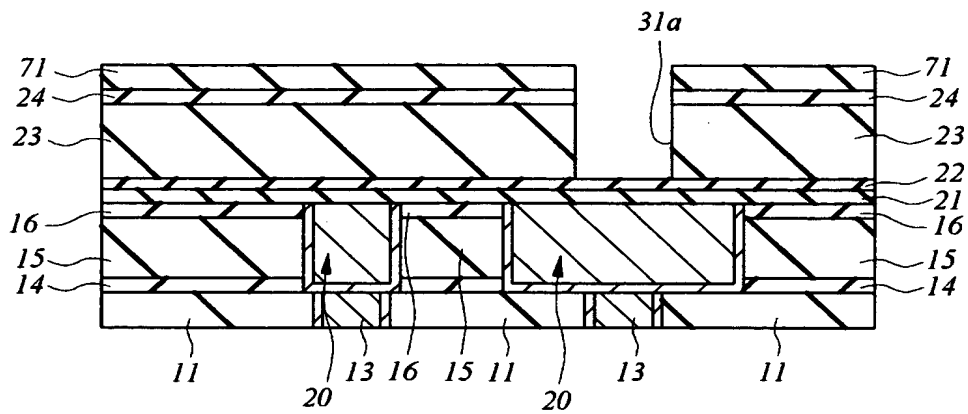
【図 34】

図 34



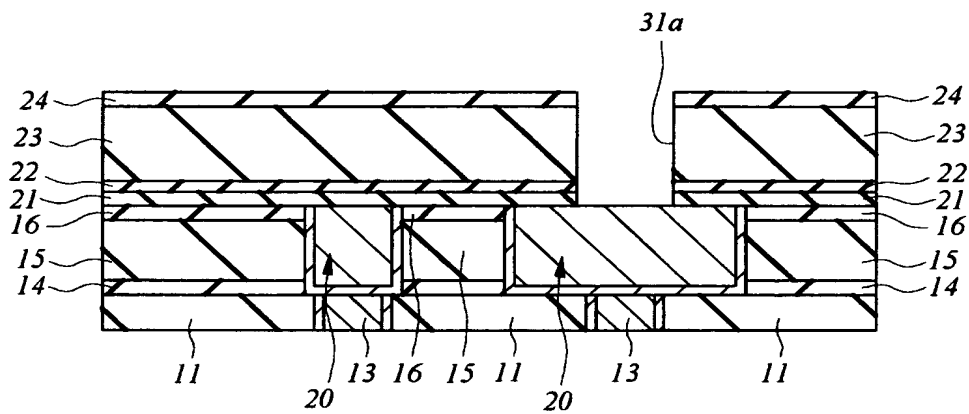
【図 35】

図 35



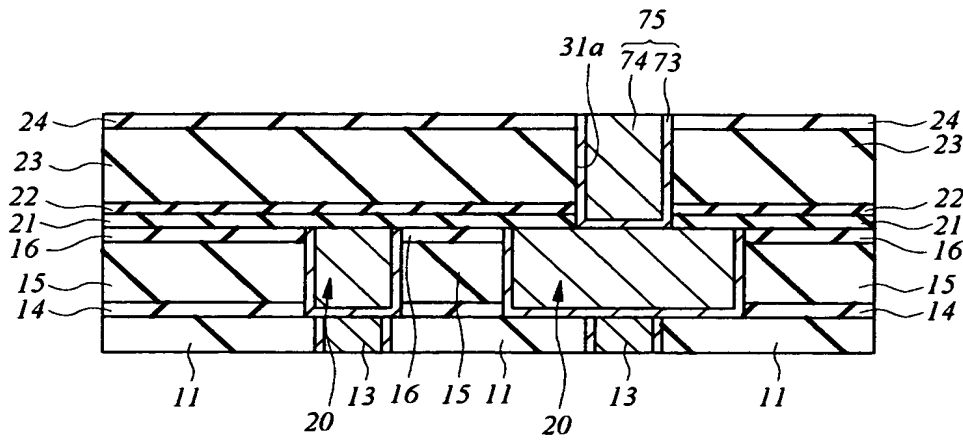
【図 36】

図 36



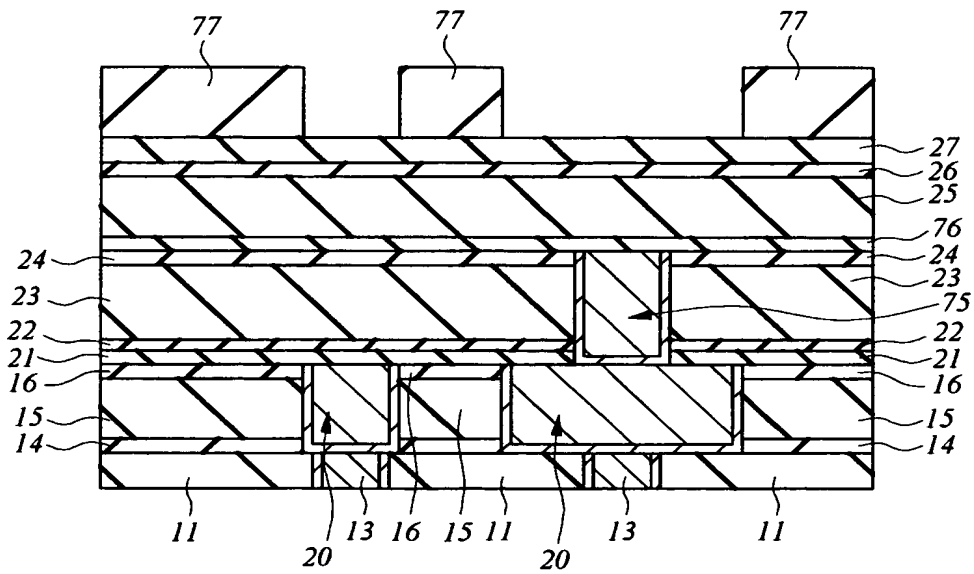
【図 37】

図 37



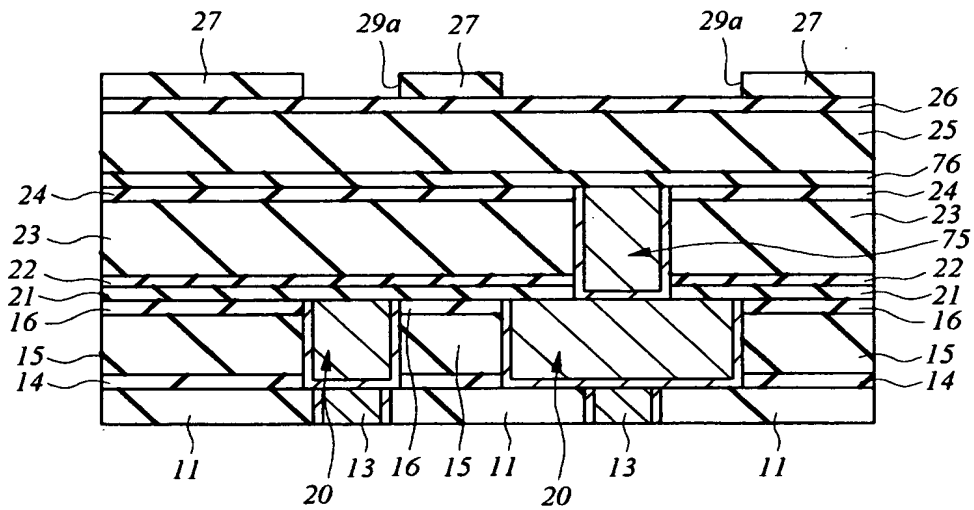
【図 38】

図 38



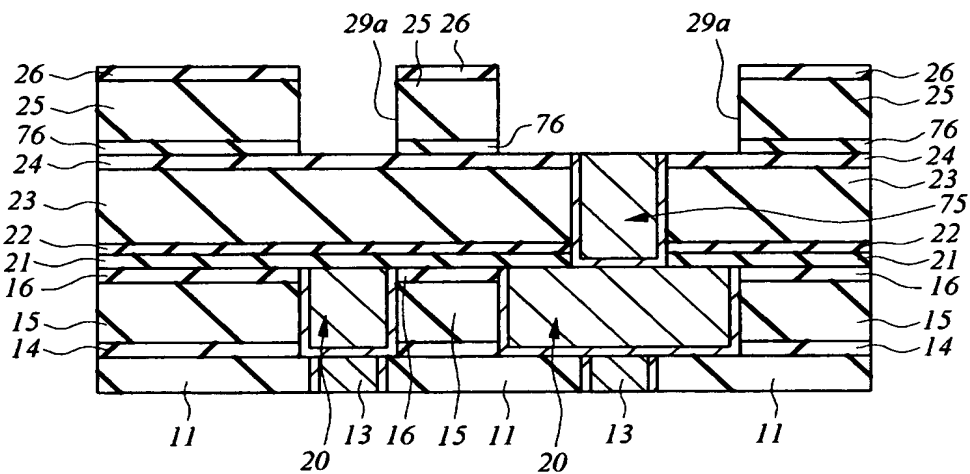
【図 39】

図 39



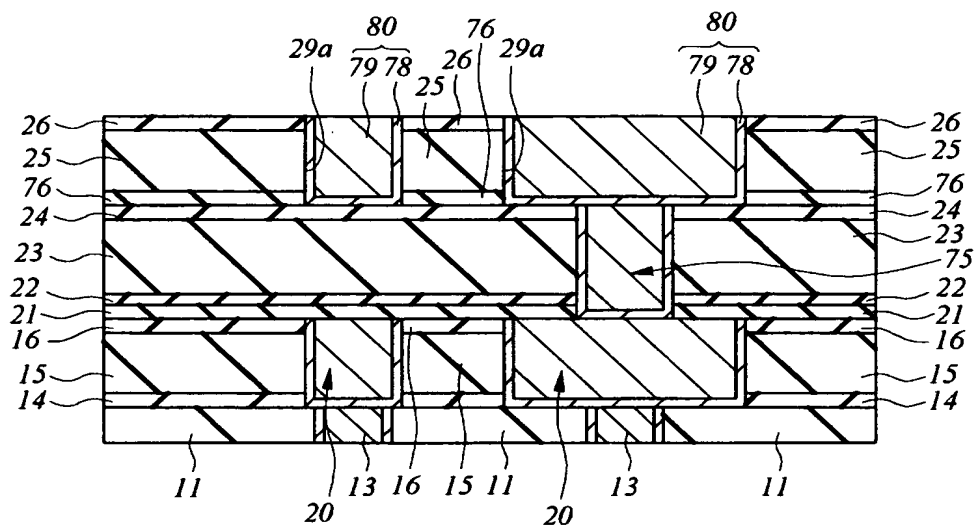
【図 40】

図 40



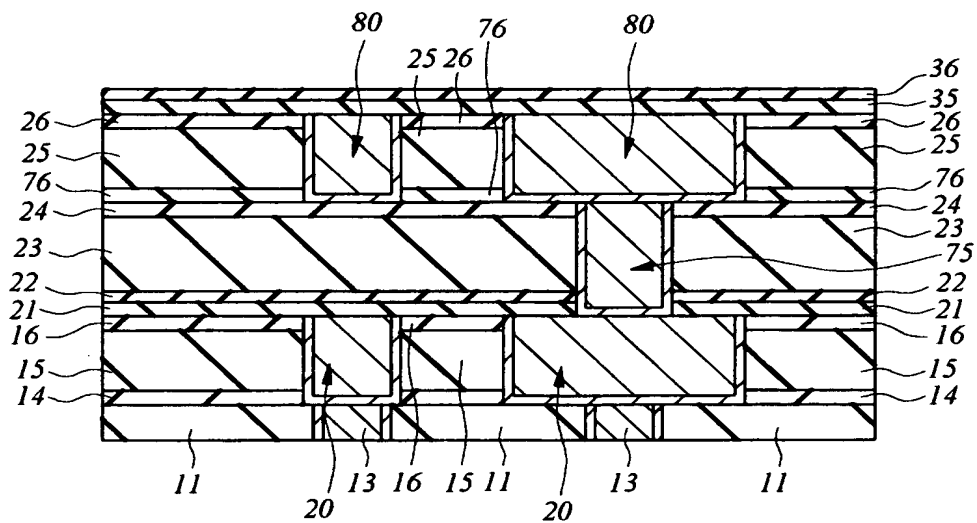
【図 4 1】

図 41



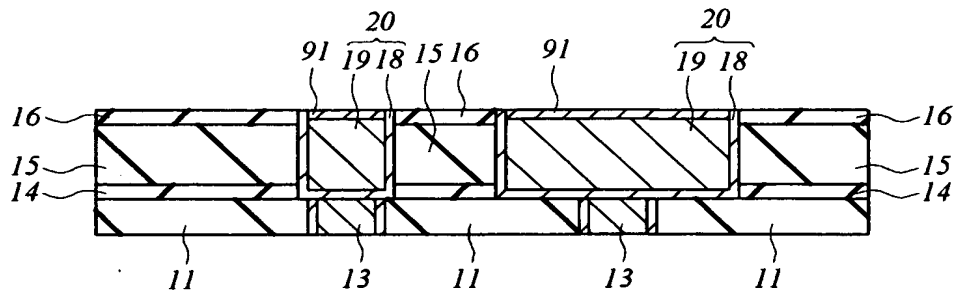
【図 4 2】

図 42



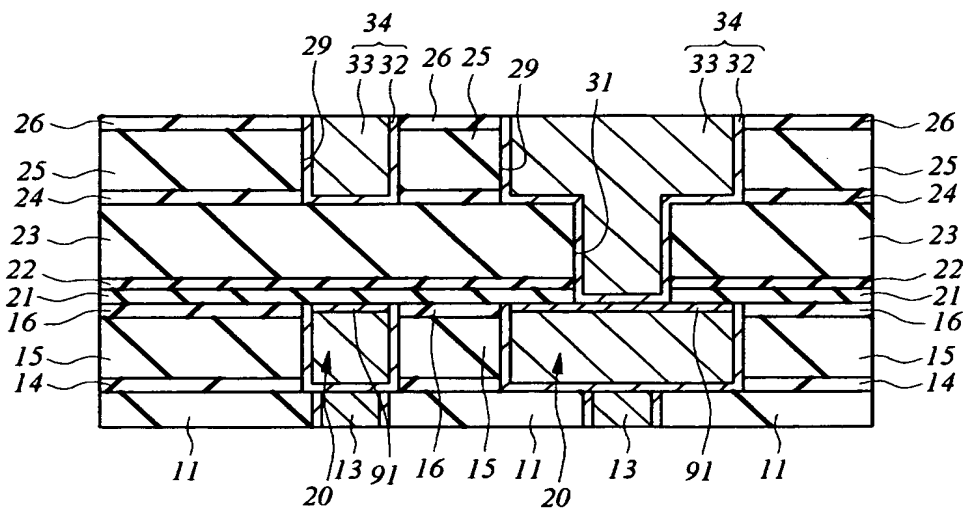
【図 4 3】

43



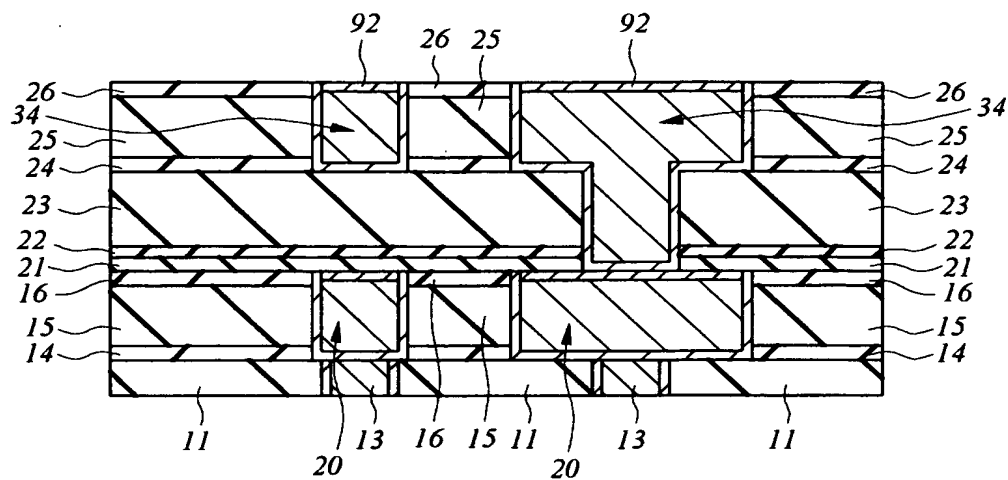
【図 4 4】

44



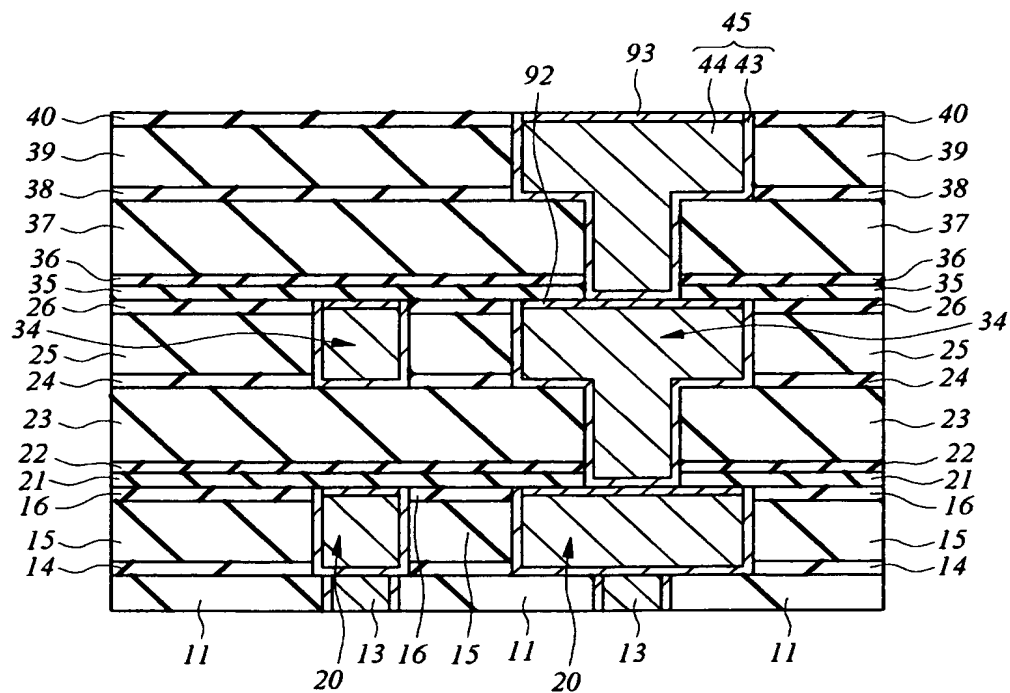
【図 4 5】

図 45



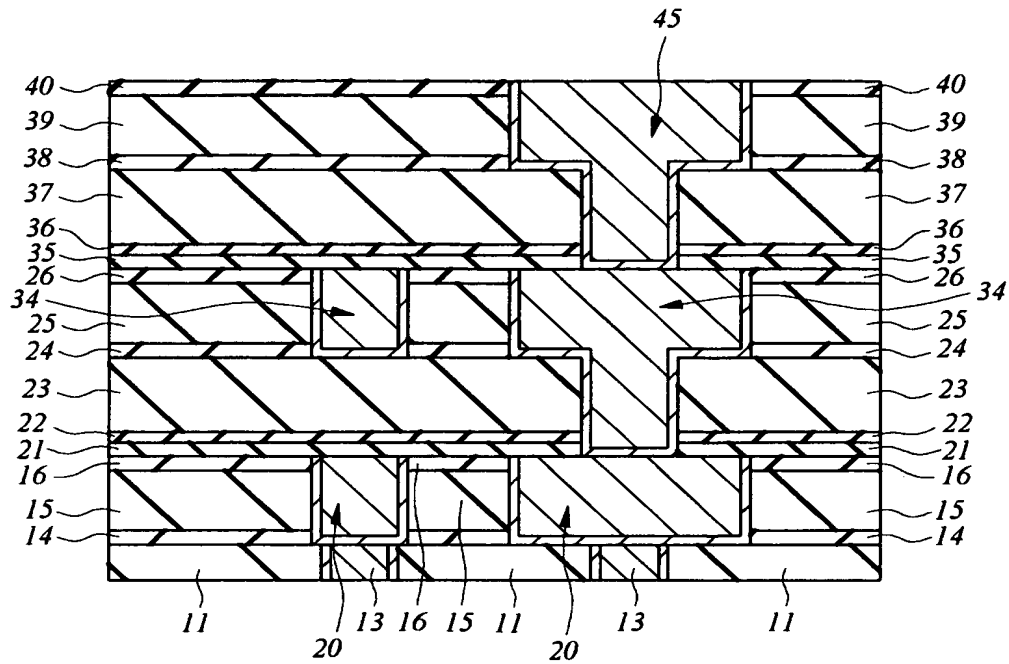
【図 4 6】

図 46



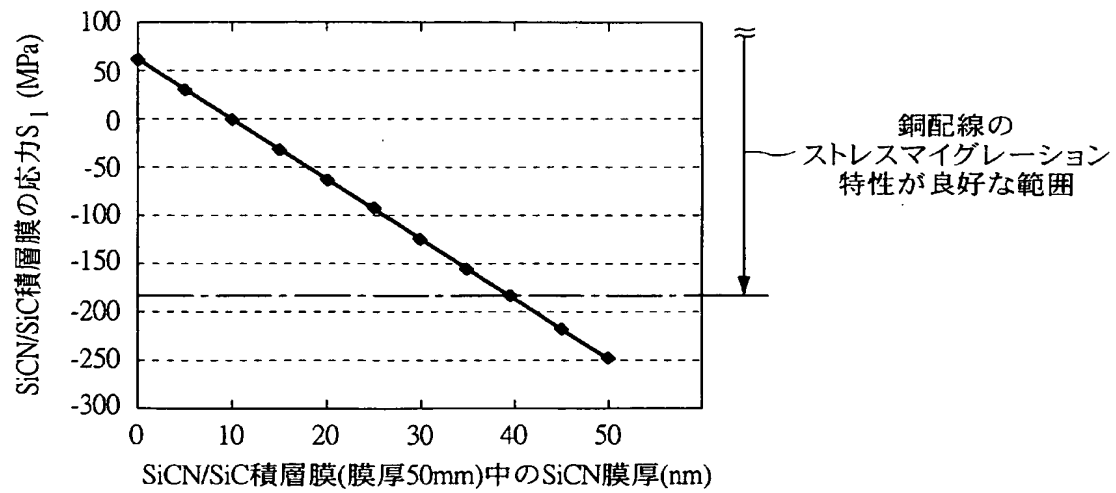
【図 47】

図 47



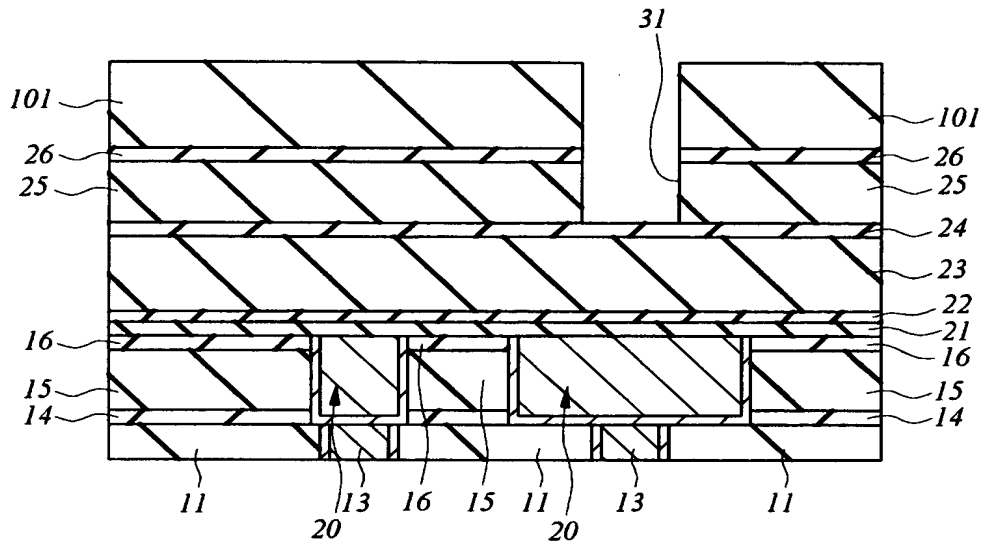
【図 48】

図 48



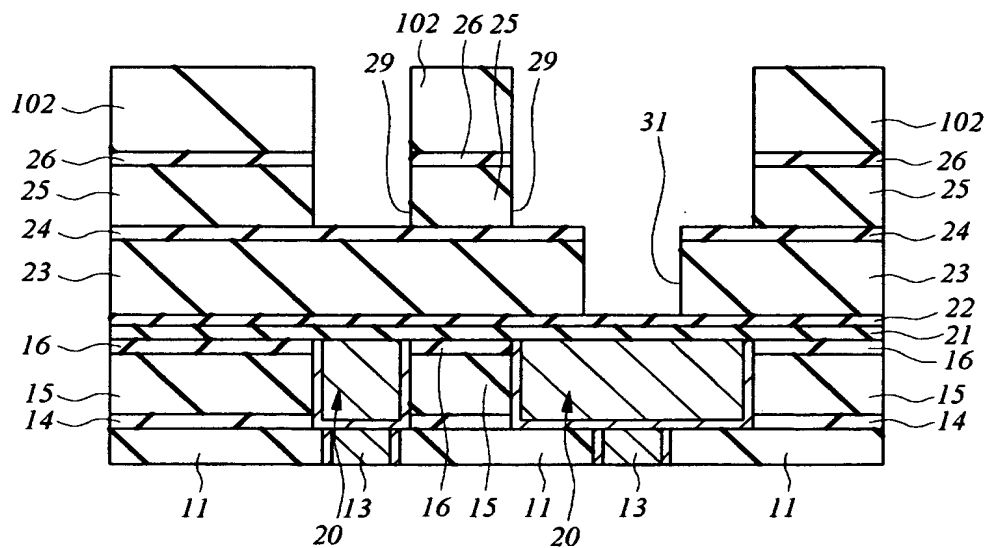
【図 49】

図 49



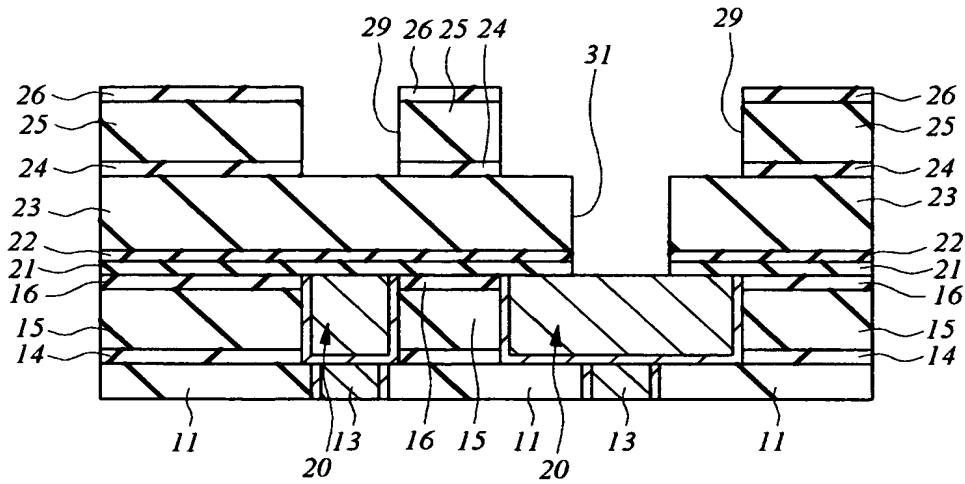
【図 50】

図 50



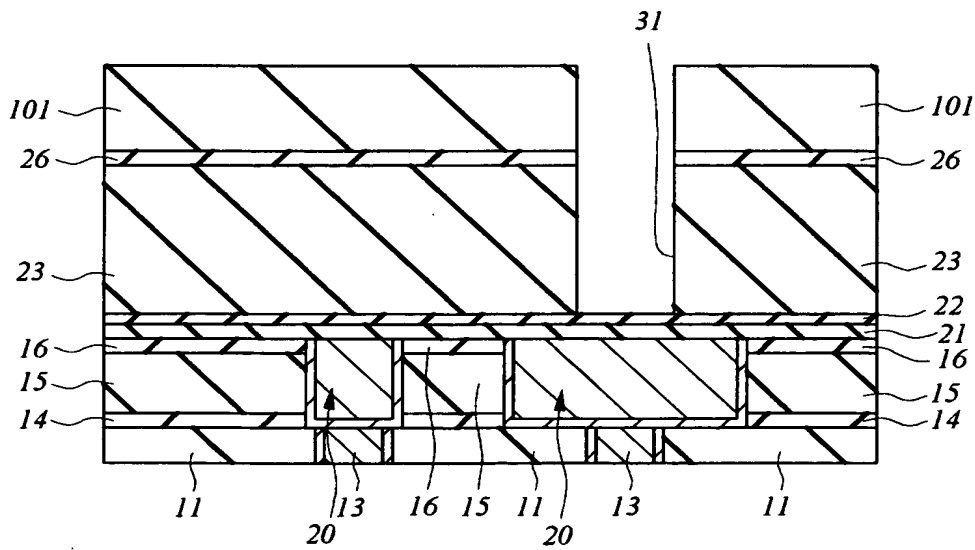
【図 5 1】

図 51



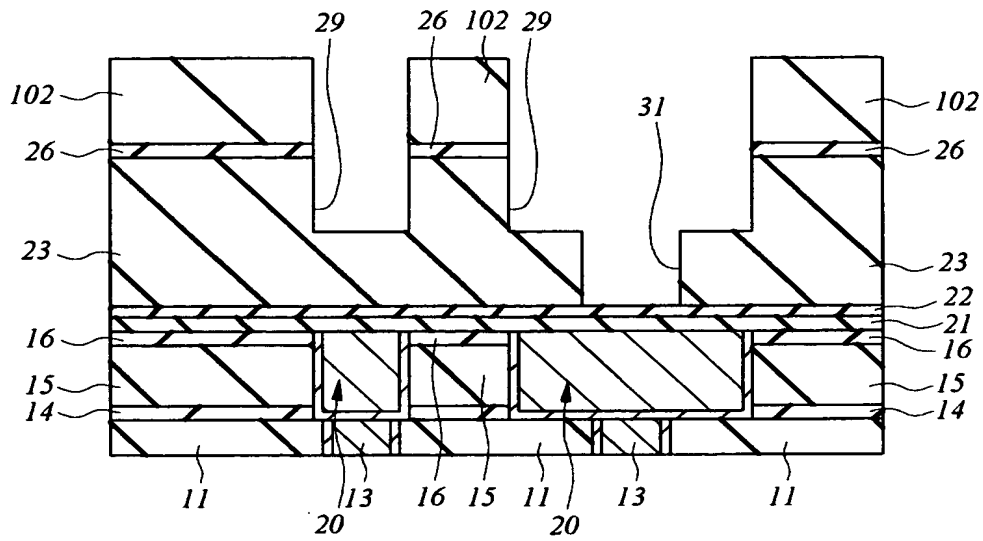
【図 5 2】

図 52



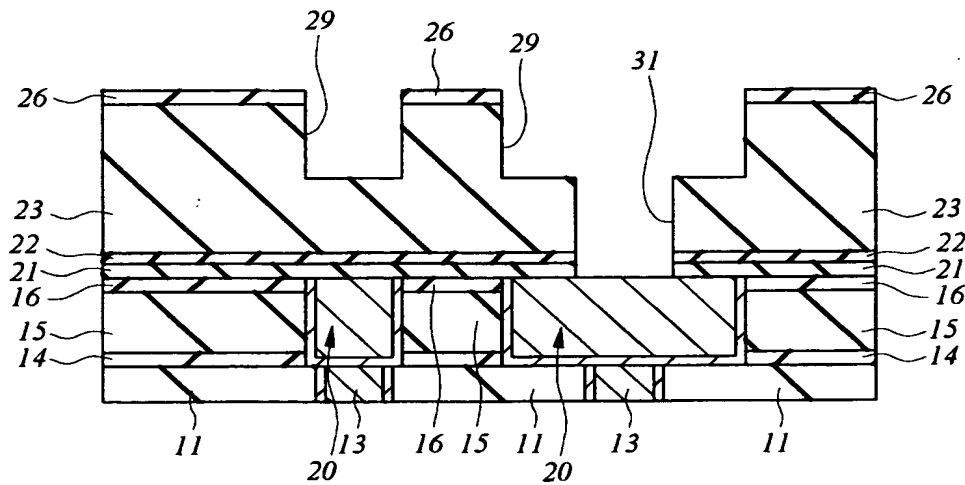
【図 5 3】

図 53



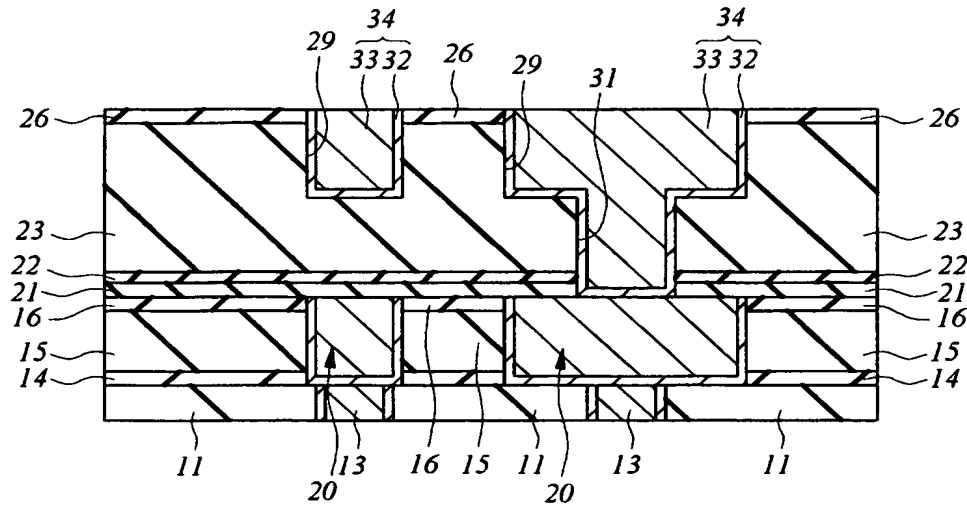
【図 5 4】

図 54



【図 5 5】

図 55



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 銅を主成分とする主導体膜を含む埋込配線の信頼性を向上させる。

【解決手段】 下層配線としての配線 20 の上面を含む絶縁膜 16 上に、銅のバリア性に優れた炭窒化シリコン膜からなる絶縁膜 21 を形成し、絶縁膜 21 上に低誘電率材料膜との密着性に優れた炭化シリコン膜からなる絶縁膜 22 を形成し、絶縁膜 22 上に層間絶縁膜として低誘電率材料からなる絶縁膜 23 を形成し、その後上層配線としての配線 34 を形成する。銅配線のバリア絶縁膜として絶縁膜 21 および絶縁膜 22 の積層膜を用い、下層側の絶縁膜 21 を高バリア性の膜とし、上層側の絶縁膜 22 を高密着性の膜とする。

【選択図】 図 15

特願 2 0 0 3 - 0 8 3 3 4 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 1 0 8]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地

氏 名

株式会社日立製作所